

Badania geofizyczne w trakcie załogowej eksploracji Księżyca w ramach programu Apollo.

Autor: mgr. inż. Mateusz Matt Harasymczuk

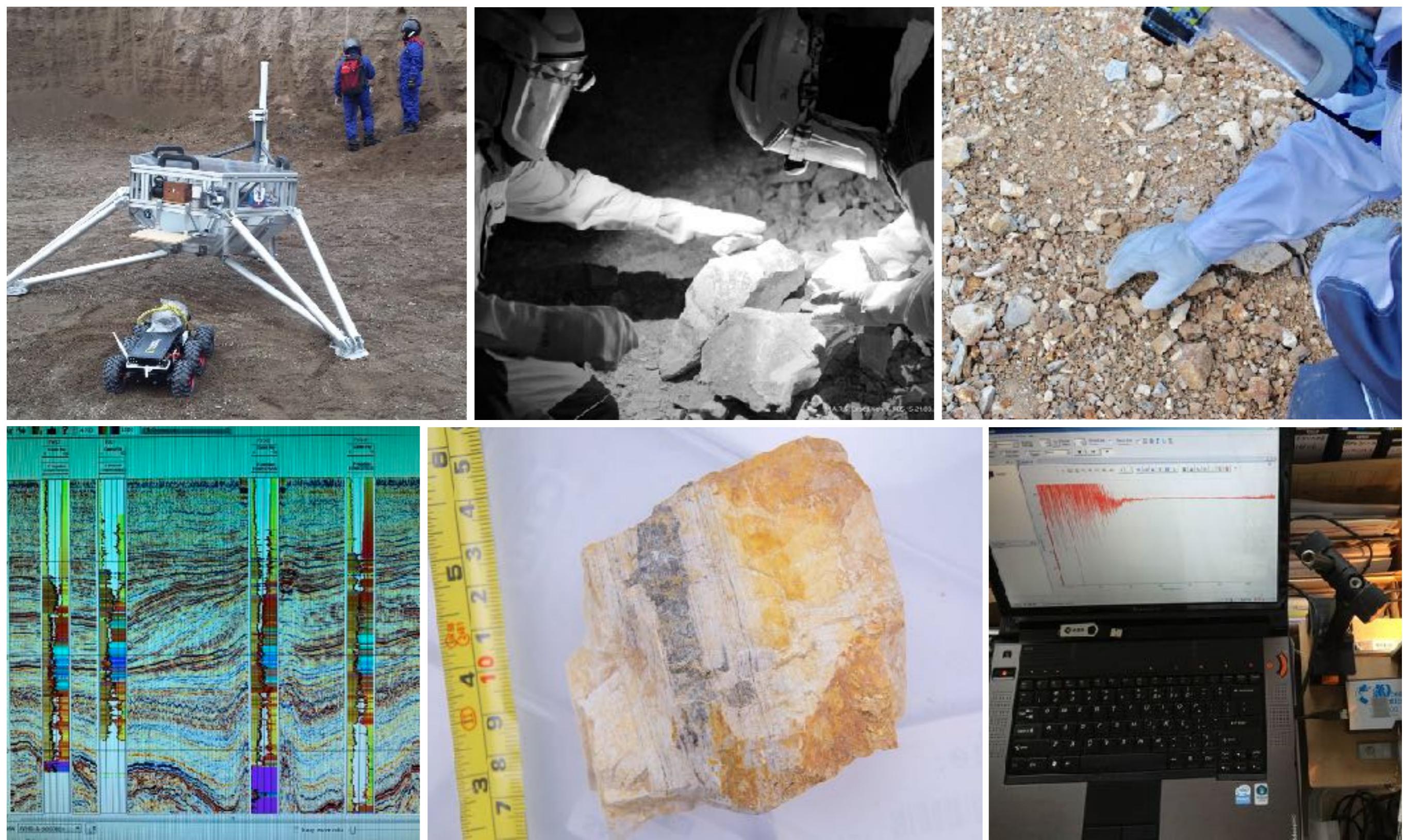
Promotor: prof. dr hab. inż. Kaja Pietsch

Matt Harasymczuk

- 2011 - Ukończenie Politechniki Poznańskiej
- 2011-2013 - Inżynier Oprogramowania w Allegro.pl
- 2014-2016 - Architekt Procesów w Centralnym Ośrodku Informatyki przy MSWiA (obecnie MCyfr)
- 2014-2019 - WSOSP Lotnictwo i Kosmonautyka
- 2016-2018 - Europejska Agencja Kosmiczna
- 2016-2018 - Budowa habitatu Lunares w Pile
- 2018-... - Budowa własnego habitatu w Rzepienniku Strzyżewskim
- 2017-... - Członek rady doradczej dla załogowych lotów kosmicznych w Indian Research Centre
- 2017 - Wyróżnienie za najlepszą publikację dotyczącą subiektywnej percepcji czasu
- 2018 - Medal Kopernikański za tworzenie fundamentów załogowych lotów kosmicznych w Polsce
- 2019 - Wygrana w Global Space Balloon Challenge za najlepszy projekt edukacyjny
- Trzykrotny uczestnik analogowych misji kosmicznych w charakterze astronauty
- Czterokrotny uczestnik misji analogowych w charakterze CAPCOM oraz Primary Investigator
- Obecnie właściciel firmy Astro Tech and Bioastronautics Research oraz Analog Astronaut Training Center

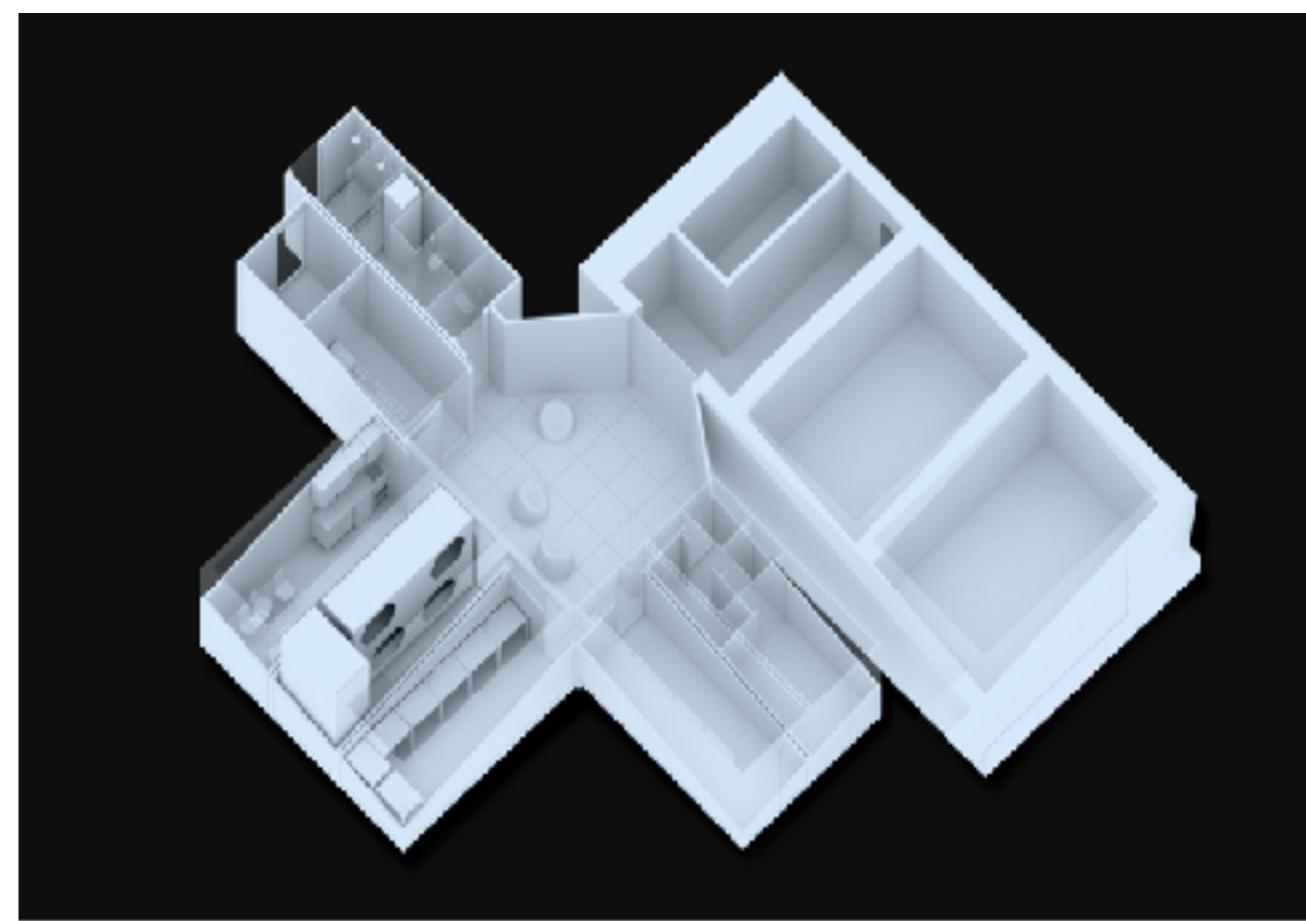




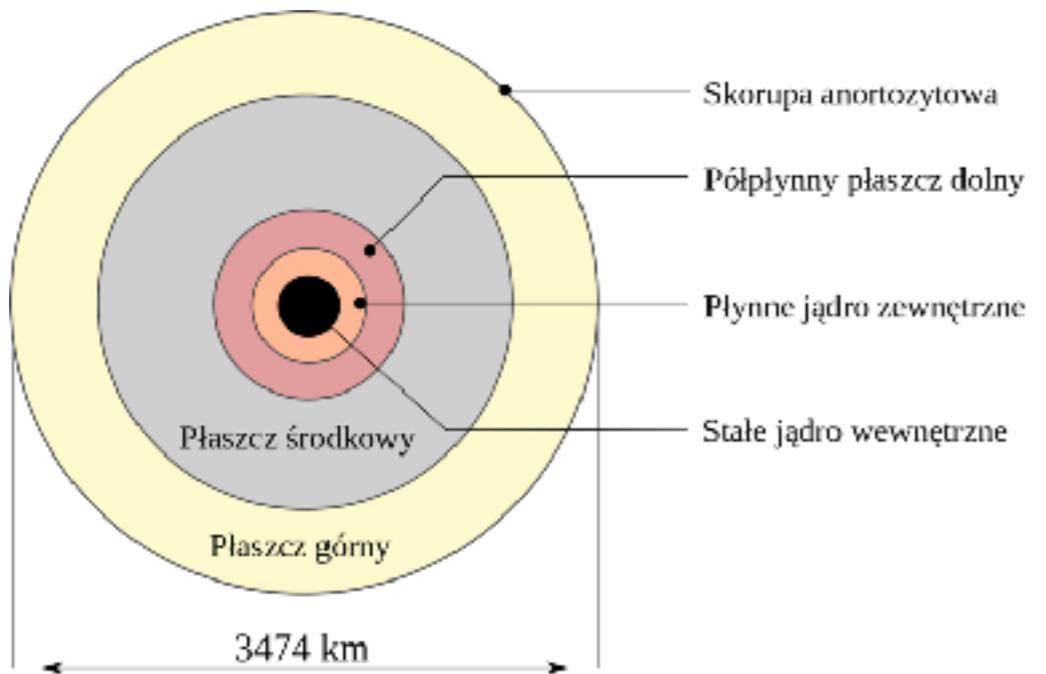


GEOLOGY AND PLANETARY SCIENCE

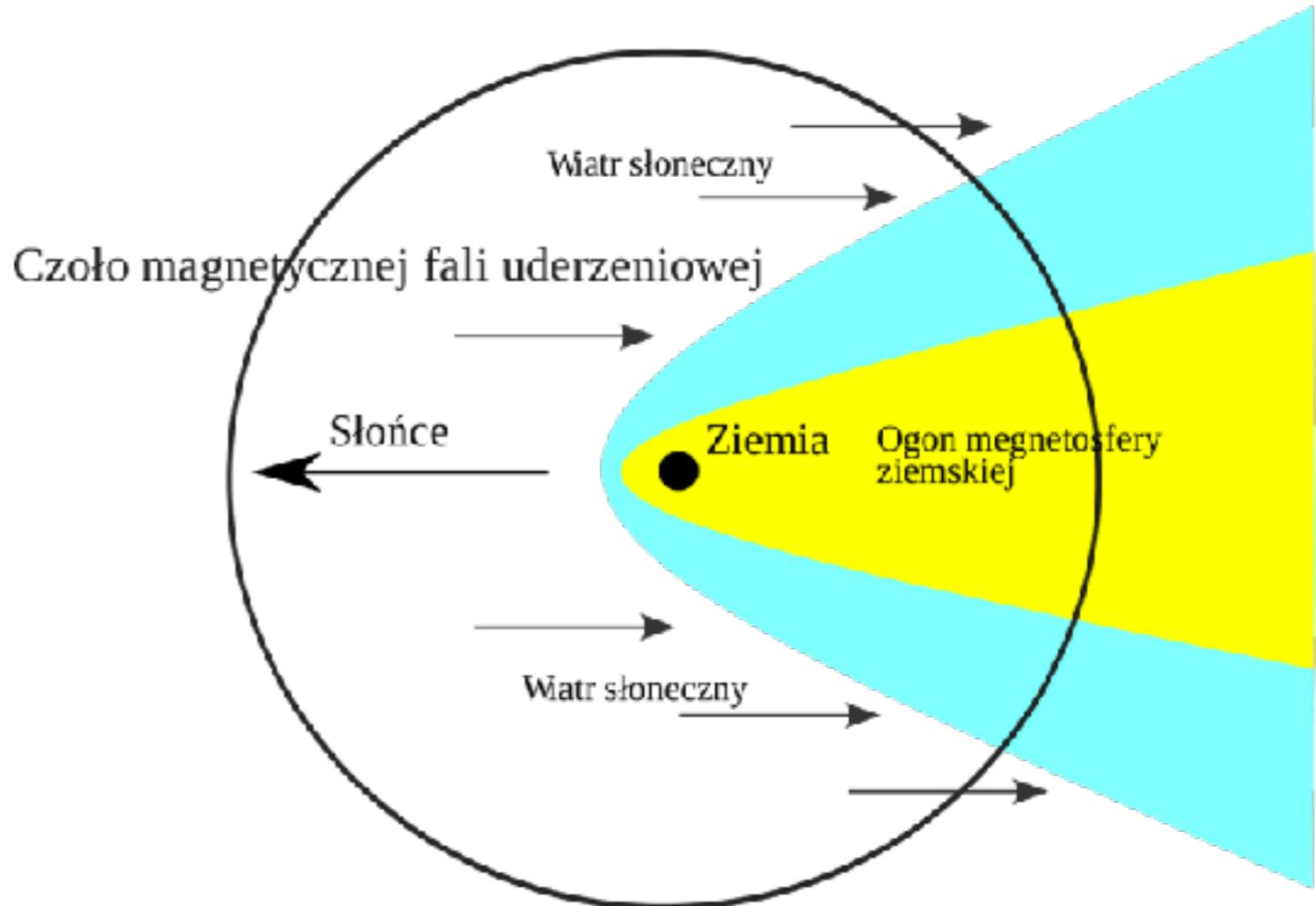
Identification, Sampling, Documentation, Spectrometry, Non-Contamination Drilling, Volcanology



Orbita Księżyca

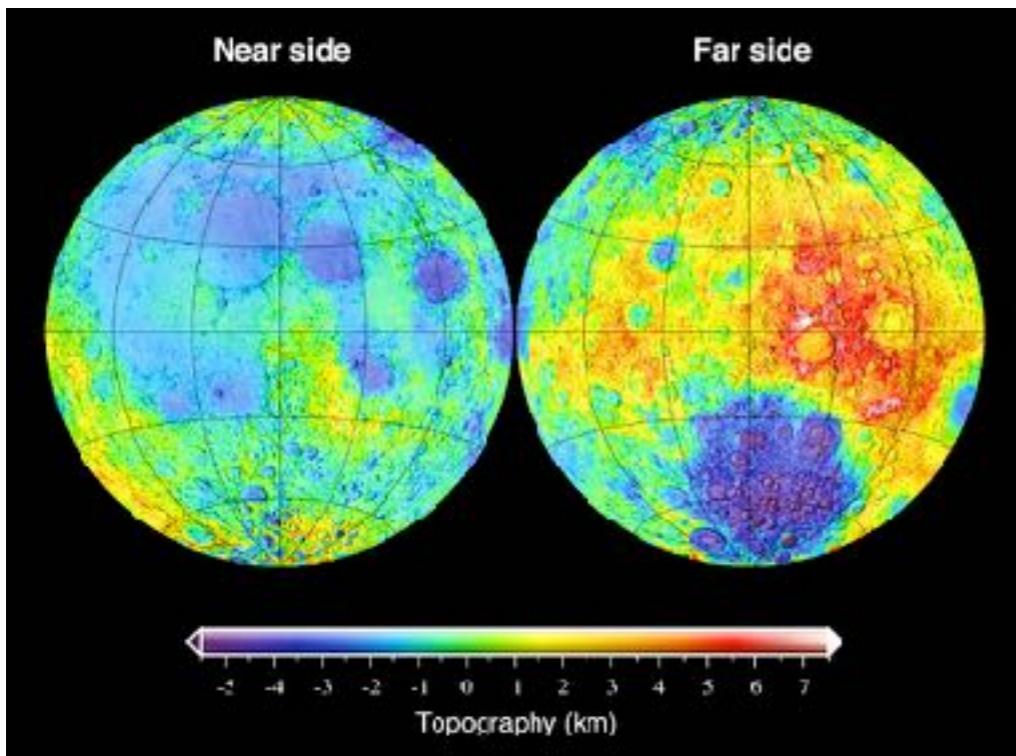


Schemat struktury wewnętrznej Księżyca

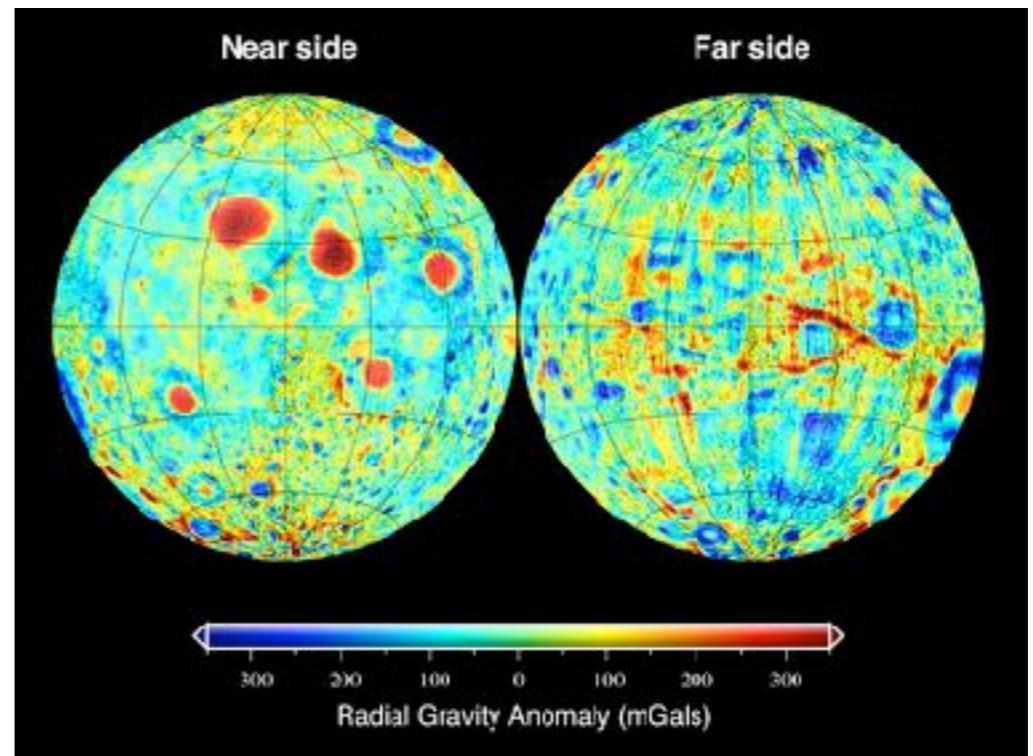


Przejście Księżyca przez magnetosferę ziemską

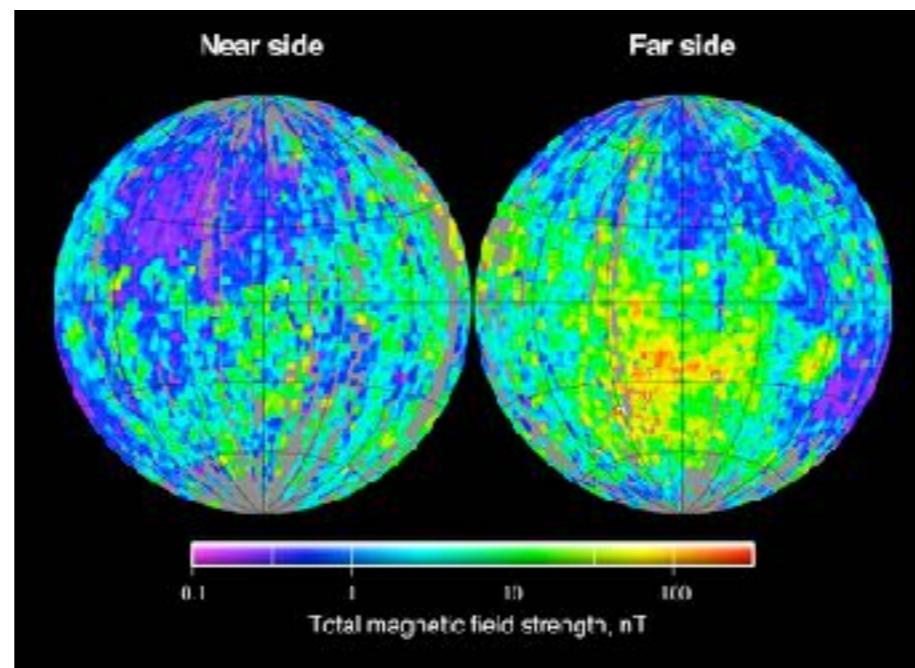
Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Ksi%C5%82yc_structura_wewn.svg



Mapa topograficzna Księżyca



Anomalie w polu grawitacyjnym na powierzchni Księżyca



Mapa natężenia księżycowego pola magnetycznego

Program Apollo

- Apollo 1 - pożar przy rutynowym teście, załoga poniosła śmierć,
- Apollo 7 - pierwszy start rakiety Saturn V z astronautami w module dowodzenia,
- Apollo 8 - pierwsze załogowe orbitowanie Księżyca, ikoniczne zdjęcie "Earth Rise" przedstawiające wschód Ziemi nad Księzycem,
- Apollo 10 - pełny test do misji typu G, zbliżenie na 8,4 NM (15,6 km) do powierzchni Księżyca,
- Apollo 11 - pierwsze lądowanie na Księżyco, ikoniczne zdjęcie "Lunar Footprint" przedstawiające odcisk buta astronauty na powierzchni,
- Apollo 12 - najbardziej dokładne lądowanie w programie Apollo, akwizycja kamery sondy Surveyor 3,
- Apollo 13 - wybuch zbiornika z tlenem i dramatyczna walka z czasem aby sprowadzić załogę na Ziemię,
- Apollo 14 - test pojazdu MET na księżycu,
- Apollo 15 - pierwsze wykorzystanie pojazdu LRV
- Apollo 16 - pierwsza trzydniowa misja (typ J)
- Apollo 17 - ostatnie lądowanie na Księżyco (pierwsza misja w której brał udział naukowiec - geolog), ikoniczne zdjęcie "Blue Marble" przedstawiające wizerunek Ziemi z daleka,
- Apollo-Soyuz Test Project - ostatnia misja programu, podczas której doszło do dokowania na orbicie statków Apollo oraz Sojuz i historycznego uściszenia dłoni między reprezentantami USA i ZSRR

Tab. 3. Typy misji w ramach programu Apollo [EM07]

| Typ | Załogowy? | Cel | Liczba LEVA | Misja Apollo | Opis |
|-----|-----------|-------------------------|-------------|---|--|
| A | nie | Niska Orbita Ziemska | 0 | Apollo 4, Apollo 6 | Test Saturn V i CSM |
| B | nie | Niska Orbita Ziemska | 0 | Apollo 5 | Test LM |
| C | tak | Niska Orbita Ziemska | 0 | Apollo 7 | Test CSM |
| D | tak | Niska Orbita Ziemska | 0 | planowany Apollo 8, polecał Apollo 9 | Test CSM i LM |
| E | tak | Średnia Orbita Ziemska | 0 | brak lotów | Test CSM i LM, symulowana misja księcięca na eliptycznej orbicie MEO apogeum 3,500 NM (6,500 km) |
| F | tak | Niska Orbita Księżyca | 0 | Apollo 10 | Test CSM i LM, próba generalna przed lądowaniem |
| G | tak | Lądowanie na Księżyco | 1 | Apollo 11 | Pierwsze lądowanie załogowe na Księżyco |
| H | tak | Pobyt na księżycu 2 dni | 2 | Apollo 12, Apollo 13 (planowany), Apollo 14 | Precyzyjne lądowanie |
| I | tak | Pobyt na księżycu 2 dni | 3 | Scalonio z misjami J | badania na orbicie Księżyca, Scientific Instrument Module |
| J | tak | Pobyt na księżycu 3 dni | 3 | Apollo 15 (planowany H, zmieniono na J), Apollo 16, Apollo 17, Apollo 18, 19, 20 (planowane jako J) | Extended LM, Lunar Roving Vehicle |

Apollo 11

1. Lunar Dust Detector (LDD)
2. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)
3. Passive Seismic Experiment Package (PSEP)
4. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

| | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Obszar eksploracji | Morze spokoju (Mare Tranquillitatis) |
| Lokacja lądowania | 0.67409°N 23.47298°E |
| Masa zebranych próbek | 21.55 kg |
| Liczba EVA | 1 |
| Czas EVA łącznie | 2h 31m 40s |
| Czas EVA I | 2h 31m 40s |
| Data startu z Ziemi | 1969-07-16 13:32:00 UTC |
| Data lądowania na Księżycu | 1969-07-20 20:17:40 UTC |
| Data startu z Księżyca | 1969-07-21 17:54:00 UTC |
| Data lądowania na Ziemi | 1969-07-24 16:50:35 UTC |



Ryc. 45. Załoga misji Apollo 11. Od lewej astronauti: Armstrong, Collins, Aldrin. Źródło: [Lin08].

Apollo 12

1. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)
2. Lunar Dust Detector (LDD)
3. Lunar Surface Magnetometer (LSM)
4. Passive Seismic Experiment (PSE)
5. Suprothermal Ion Detector Experiment (SIDE)
6. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)
7. Solar Wind Spectrometer (SWS)

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| Obszar eksploracji | Ocean Burz (Ocean of Storms) |
| Lokacja lądowania | 3.01381°S 23.41930°W |
| Masa zebranych próbek | 34.35 kg |
| Liczba EVA | 2 |
| Czas EVA łącznie | 7h 45m, 18s |
| Czas EVA 1 | 3h 56m 3s |
| Czas EVA 2 | 3h 49m 15s |
| Data startu z Ziemi | 1969-11-14 16:22:00 UTC |
| Data lądowania na Księżycu | 1969-11-19 06:54:35 UTC |
| Data startu z Księżyca | 1969-11-20 14:25:47 UTC |
| Data lądowania na Ziemi | 1969-11-24 20:58:24 UTC |



Ryc. 51. Zaloga misji Apollo 12. Od lewej astronauti: Conrad, Gordon, Bean

Apollo 14

1. Active Seismic Experiment (ASE)
2. Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLLEE)
3. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)
4. Lunar Dust Detector (LDD)
5. Lunar Portable Magnetometer (LPM)
6. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)
7. Passive Seismic Experiment (PSE)
8. Suprothermal Ion Detector Experiment (SIDE)
9. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| Obszar eksploracji | Fra Mauro |
| Lokacja lądowania | 3.64544°S 17.47139°W |
| Masa zebranych próbek | 42.80 kg |
| Liczba EVA | 2 |
| Czas EVA łącznie | 9h 22m 31s |
| Czas EVA 1 | 4h 47m 50s |
| Czas EVA 2 | 4h 34m 41s |
| Data startu z Ziemi | 1971-01-31 21:03:02 UTC |
| Data lądowania na Księżycu | 1972-02-05 09:18:11 UTC |
| Data startu z Księżyca | 1972-02-06 18:48:42 UTC |
| Data lądowania na Ziemi | 1972-02-09 21:05:00 UTC |



Ryc. 58. Załoga misji Apollo 14. Od lewej astronauti: Rosa, Shepard, Mitchell

Apollo 15

1. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)
2. Heat Flow Experiment (HFE)
3. Lunar Dust Detector (LDD)
4. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)
5. Lunar Surface Magnetometer (LSM)
6. Passive Seismic Experiment (PSE)
7. Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)
8. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| Obszar eksploracji | Hadley–Apennine |
| Lokacja lądowania | 26.13224°N 3.63400°E |
| Masa zebranych próbek | 77 kg |
| Liczba EVA | 4 |
| Czas EVA łącznie | 19h 7m 53s |
| Czas EVA 1 | 33m 7s |
| Czas EVA 2 | 6h 32m 42s |
| Czas EVA 3 | 7h 12m 14s |
| Czas EVA 4 | 4h 49m 50s |
| Dystans przebyty łazikiem LRV | 27.9 km |
| Data startu z Ziemi | 1971-07-26 13:34:00 UTC |
| Data lądowania na Księżycu | 1971-07-30 22:16:29 UTC |
| Data startu z Księżyca | 1971-08-02 17:11:23 UTC |
| Data lądowania na Ziemi | 1971-08-07 20:45:53 UTC |



Ryc. 67. Zaloga misji Apollo 15. Od lewej astronauti: Scott, Worden, Irwin

Apollo 16

1. Active Seismic Experiment (ASE)
2. Cosmic Ray Detector (CRD)
3. Heat Flow Experiment (HFE)
4. Lunar Portable Magnetometer (LPM)
5. Lunar Surface Magnetometer (LSM)
6. Passive Seismic Experiment (PSE)
7. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

| | |
|-------------------------------|--|
| Obszar eksploracji | Wyżyny Kartezjusza (Descartes Highlands) |
| Lokacja lądowania | 8.97341°S 15.49859°E |
| Masa zebranych próbek | 95.71 kg |
| Liczba EVA | 3 |
| Czas EVA łącznie | 20h 14m 14s |
| Czas EVA 1 | 7h 11m 2s |
| Czas EVA 2 | 7h 23m 9s |
| Czas EVA 3 | 5h 40m 3s |
| Dystans przebyty łazikiem LRV | 26.7 km |
| Data startu z Ziemi | 1972-04-16 17:54:00 UTC |
| Data lądowania na Księżycu | 1972-04-21 02:23:35 UTC |
| Data startu z Księżyca | 1972-04-24 01:25:47 UTC |
| Data lądowania na Ziemi | 1972-04-27 19:45:05 UTC |



Ryc. 76. Załoga misji Apollo 16. Od lewej astronauti: Mattingly, Young, Duke

Apollo 17

1. Cosmic Ray Detector (CRD)
2. Heat Flow Experiment (HFE)
3. Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)
4. Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)
5. Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)
6. Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)
7. Neutron Probe Experiment (NPE)
8. Surface Electrical Properties Experiment (SEP)
9. Traverse Gravimeter Experiment (TGE)

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| Obszar eksploracji | Taurus-Littrow |
| Lokacja lądowania | 20.18809°N 30.77475°E |
| Masa zebranych próbek | 110.52 kg |
| Liczba EVA | 3 |
| Czas EVA łącznie | 22h 3m 57s |
| Czas EVA 1 | 7h 11m 56s |
| Czas EVA 2 | 7h 36m 56s |
| Czas EVA 3 | 7h 15m 8s |
| Dystans przebyty łazikiem LRV | 35.74 km |
| Data startu z Ziemi | 1972-12-07 05:33:00 UTC |
| Data lądowania na Księżycu | 1972-12-11 19:54:57 UTC |
| Data startu z Księżyca | 1972-12-14 22:54:37 UTC |
| Data lądowania na Ziemi | 1972-12-19 19:24:59 UTC |



Ryc. 34. Załoga misji Apollo 17. Od lewej astronauti: Schmitt, Cernan (dół), Evans (góra)

Tab. 4. Warianty pakietu ALSEP w poszczególnych misjach

| Misja | Nazwa zestawu |
|-----------|-----------------|
| Apollo 11 | EASEP |
| Apollo 12 | ALSEP Array A |
| Apollo 13 | ALSEP Array B |
| Apollo 14 | ALSEP Array C |
| Apollo 15 | ALSEP Array A-2 |
| Apollo 16 | ALSEP Array D |
| Apollo 17 | ALSEP Array E |

Zestaw Eksperymentów ALSEP

Tab. 5. Lista eksperymentów zrealizowanych w trakcie misji Apollo

| Skrót | Nazwa eksperymentu | Dziedzina | Zrealizowano podczas misji Apollo |
|--------|---|-----------------------|-----------------------------------|
| ASE | Active Seismic Experiment | Sejsmika | 14, 16 |
| CCIG | Cold Cathode Ion Gauge | Magnetoometria | 12, 14, 15 |
| CPLIEE | Charged Particle Lunar Environmental Experiment | Elektromagnetyzm | 14 |
| CRD | Cosmic Ray Detector | Radiometria | 16, 17 |
| HFE | Heat Flow Experiment | Radiometria | 15, 16 (nieskutecznie), 17 |
| LACE | Lunar Atmospheric Composition Experiment | Badania atmosferyczne | 17 |
| LAD | Lunar Atmospheric Detector | Badania atmosferyczne | 11, 12 |
| LDD | Lunar Dust Detector | Petrofizyka | 11, 12, 14, 15 |
| LEAM | Lunar Ejecta and Meteorite Esperiment | Wulkanizm | 17 |
| LID | Lunar Ionesphere Detector | Elektromagnetyzm | 12 |
| LPM | Lunar Portable Magnetometer | Magnetoometria | 14, 16 |
| LRRR | Laser Ranging Retro-reflector | Astrofizyka | 11, 14, 15 |
| LSG | Lunar Surface Gravimeter Experiment | Grawimetria | 17 |
| LSM | Lunar Surface Magnetometer | Magnetoometria | 12, 15, 16 |
| LSPE | Lunar Seismic Profiling Experiment | Sejsmika | 17 |
| NPE | Neutron Probe Experiment | Radiometria | 17 |
| PSE | Passive Seismic Experiment | Sejsmika | 12, 14, 15, 16 |
| PSEP | Passive Seismic Experiment Package | Sejsmika | 11 |
| SEP | Surface Electrical Properties Experiment | Elektromagnetyzm | 17 |
| SIDE | Suprathermal Ion Detector Experiment | Elektromagnetyzm | 12, 14, 15 |
| SWCE | Solar Wind Composition Experiment | Elektromagnetyzm | 11, 12, 14, 15, 16 |
| SWS | Solar Wind Spectrometer | Elektromagnetyzm | 12, 15 |
| TGE | Traverse Gravimeter Experiment | Grawimetria | 17 |

Active Seismic Experiment (ASE)

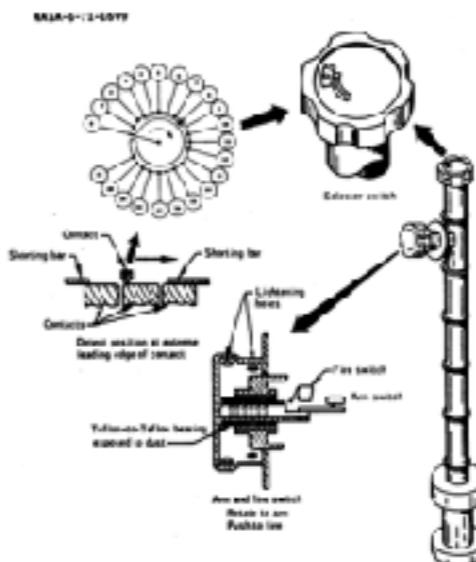
Przedmiot badania:

- Określenie struktury górnej warstwy powierzchni Księżyca do głębokości 1000 m

| | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Ośrodek badawczy | Stanford University, USA |
| Misje | Apollo 14, 16 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Active Seismic Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Aktywny eksperyment sejsmiczny |
| Działanie | Sejsmika |

Materiały i metody:

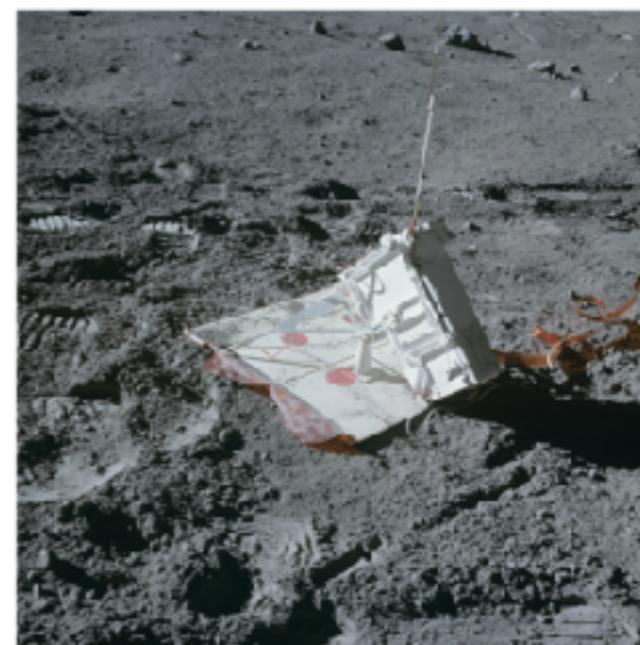
- Niewielkie ładunki wybuchowe w celu wzbudzenia fal sejsmicznych.
- Wywoływane w trakcie pobytu i po odlocie



Ryc. 6. Diagram przedstawia eksperiment Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [NAS69].

Rezultaty:

- Prędkość rozchodzenia fali sejsmicznej określono na od 0.1 do 0.3 km/s
- Korelują się z prędkościami rozchodzenia się fal sejsmicznych w skałach brekcji o wysokim stopniu porowatości oraz spękaniach spowodowanych długotrwałym bombardowaniem meteorytami powierzchni Księżyca
- Miąższość regolitu księżycowego na powierzchni określono na 8,5 metrów



Ryc. 7. Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [Tea39].

Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)

Przedmiot badania:

- Określenie potencjału powierzchni Księżyca, zbadania parametrów plazmy przy powierzchni, określenia spektrum masowego jonów i badań strumienia pola jonowego w ogonie magnetycznym

Tab. 7. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Ośrodek badawczy | University of Texas, USA |
| Misje | Apollo 12, 14, 15 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Cold Cathode Ion Gauge |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Pomiar jonów zimną katodą |
| Dziedzina | Magneteometria |

Materiały i metody:

- Kierunkowy sensor zorientowany w płaszczyźnie ekiptycznej pod kontem 15 stopni od lokalnego Księżycowego południka

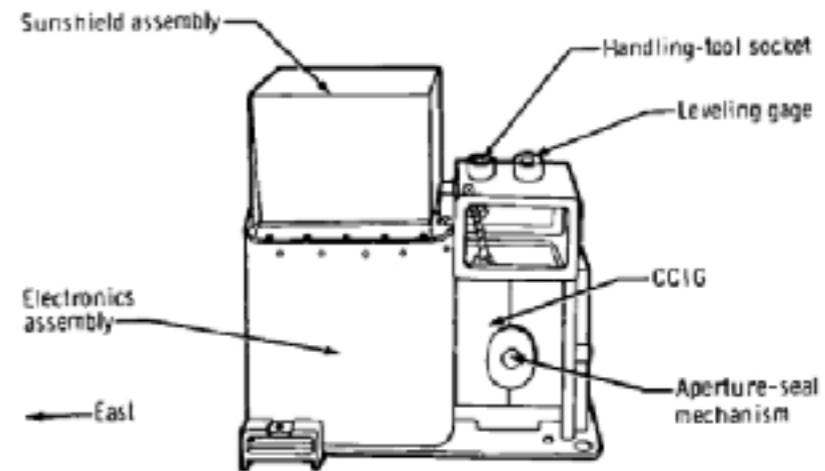
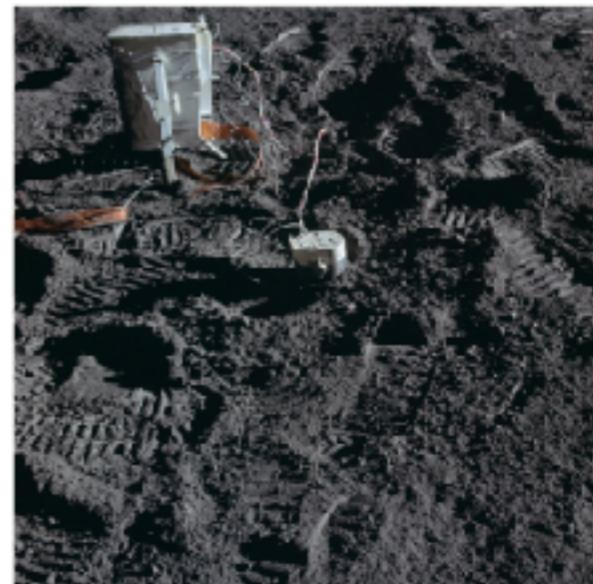


Figure 13. - The CCIG in the deployed configuration.

Ryc. 8. Diagram przedstawia eksperyment Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). Źródło: [NAS69].

Rezultaty:

- Wyniki pomiarów określiły poziom ciśnienia w maksymalnym dolnym zakresie urządzenia, tj. $10E-12$ Torr
- Dla porównania Ziemska atmosfera na poziomie morza przyjmuje wartość 760 Torr



Ryc. 7. Zdjęcie przedstawia dwa instrumenty badawcze: Superthermal Ion Detector (SEDE) i Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). SEDE znajduje się w pólnym lewym rogu zdjęcia, a CCIG w centrum fotografii. Źródło: NASA/AS14-67-9373 [Tea69].

Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE)

Przedmiot badania:

- Pomiar energii cząstek wiatru słonecznego (protonów i elektronów) docierających do powierzchni Księżyca, wyznaczenie rozkładu energii cząstek oraz zmierzenie ich wpływu na układ Ziemia-Księżyca.

Tab. 8. Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE)

| | |
|------------------------------|---|
| Ośrodek badawczy | University of Sydney, Australia |
| Misje | Apollo 14 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Charged Particle Lunar Environmental Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Pomiar ładunku cząstek w środowisku księżycowym |
| Dziedzina | Elektromagnetyczna |

Materiały i metody:

- Dwa spektrometry zawierające sześć detektorów cząstek: pięciu C-kształtnych kanalikowych powielaczy elektronowych



Rezultaty:

- Zbadano protony i elektrony w przedziale energetycznym 40 KeV do 70 KeV
- Książyc poddawany jest bombardowaniu niskoenergetycznych fotoelektronów
- Niespodziewanym odkryciem podczas eksperymentu okazało się zaobserwowanie elektronów w ogonie magnetycznym Ziemi. Cząstki posiadały potencjał porównywalny z wartościami wiązania w Ziemskich zorzach polarnych.



Ryc. 63. Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE). Źródło: [Tva99].

Cosmic Ray Detector (CRD)

Przedmiot badania:

- Badanie wpływu promieniowania kosmicznego na różne materiały
- Badanie cząstek niskoenergetycznych oraz dokonanie pomiaru neutronów pochodzących z powierzchni Księżyca.
- Określenie składu i kierunku padania promieniowania kosmicznego.

Materiały i metody:

- Panele z Lexanu, Teflonu oraz trioctanu celulozy firmy Kodacel
- Cząsteczki padające na powierzchnię panelu pozostawały ślady mikrościeżek.

Rezultaty:

- W eksperymencie zanotowano rekordowo wysokie wartości cząstek niskoenergetycznych oraz neutronów pochodzących z powierzchni Księżyca.

Tab. 9. Cosmic Ray Detector (CRD)

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | University of California-Berkeley i Washington University, USA |
| Misja | Apollo 16, 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Cosmic Ray Detector |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Wykrywacz promieniowania kosmicznego |
| Dziedzina | Radiometria |



Ryc. 10. Zdjęcie przedstawia eksperiment Cosmic Ray Detector (CRD). Detektor jest ustawiony w pozycji minus-Y (południe). Źródło: NASA/AS16-107-17442, [Tea99].

Heat Flow Experiment (HFE)

Przedmiot badania:

- Określenie poziomu radioaktywności jako źródła długotrwałego generowania temperatury we wnętrzu oraz określenia parametrów dla modelu termicznej historii Księżyca

Materiały i metody:

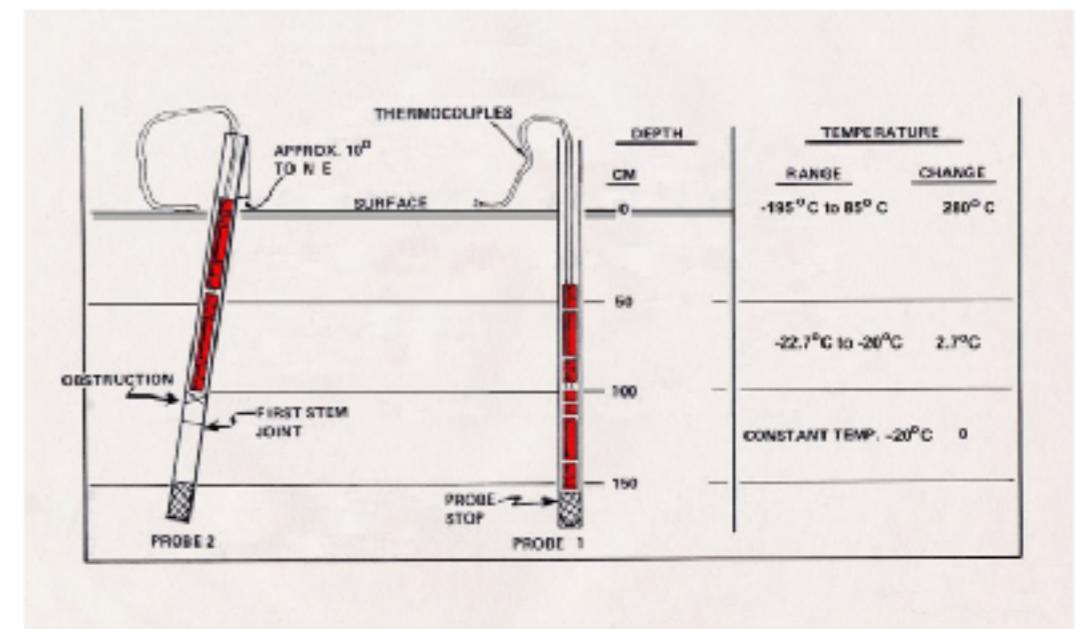
- Stworzenie dwóch otworów wiertniczych w regolice księżycowej o głębokości od 1,6 m do 2,3 m
- Za pomocą platynowych termometrów oporowych dokonano pomiarów temperatury na wielu poziomach każdego z otworów.

Rezultaty:

- Wnętrze Księżyca jest znacznie cieplejsze niż jego powierzchnia.
- Źródłem ciepła jest głównie rozpad radionukleotydów pochodzenia naturalnego takich jak tor, uran czy potas.
- Prędkość utraty ciepła w postaci wy promieniowywania w kosmos jest znaczącym czynnikiem wpływającym na tektonikę (tworzenie się uskoków i fałdowań powierzchni na skutek deformacji wewnętrznej) oraz na aktywność wulkaniczną.
- Temperatura w trakcie nocy: 76 K (-197°C), w ciągu dnia: 358 K (+85°C). Temperatura pod powierzchnią regolitu księżycowego na głębokości 1,5 m była stała i przyjmowała wartość 253 K (-20°C).

Tab. 10. Heat Flow Experiment (HFE)

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | Columbia University, USA |
| Misja | Apollo 15, Apollo 16 (nieuskutecznie), Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Heat Flow Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Badanie przepływu ciepła |
| Dziedzina | Radiometria |



Ryc. 11. Diagram przedstawia eksperiment Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: [Lin08].



Ryc. 81. Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: [Iea99].

Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)

Tab. 11. Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)

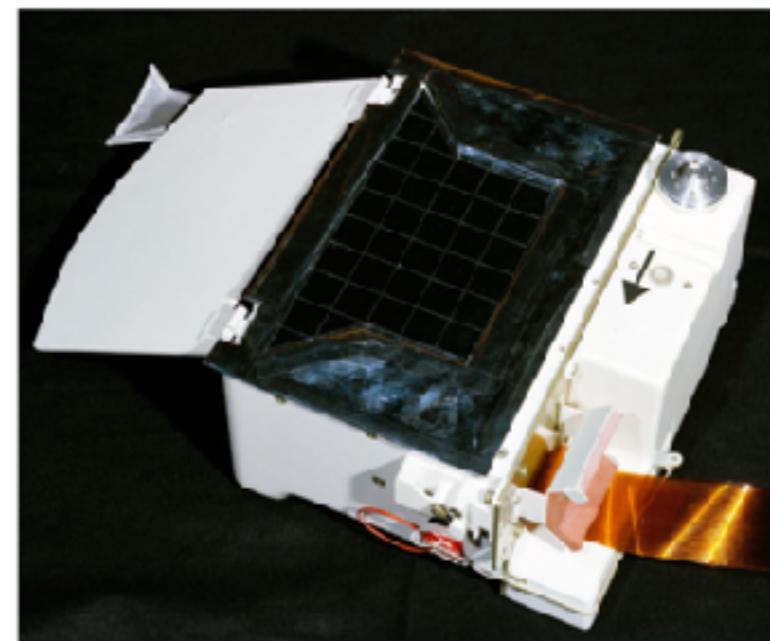
Przedmiot badania:

- Księżyca posiada bardzo cienką atmosferę zwaną egzosferą sięgającą powierzchni (ang. Surface Bound Exosphere).
- Ze względu na otrzymywanie dużych energii na skutek słonecznego podgrzewania lekkie atomy takie jak hel, wyparowują w przestrzeń kosmiczną w ciągu kilku godzin. Dla cięższych atomów czas ten jest odpowiednio dłuższy. W procesie jonizacji wywołanej przez promieniowanie UV pochodzące od słońca, atomy te mogą być uniesione na znaczne odległości od powierzchni Księżyca.

Materiały i metody:

- Spektrometr masowy, który pozwolił na określenie składu atmosfery księżycowej

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | University of Texas, USA |
| Misja | Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Atmospheric Composition Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Pomiar składu atmosfery Księżyca |
| Dziedzina | Badania atmosferyzowane |



Ryc. 13. Zdjęcie przedstawia eksperiment Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE). Źródło: [Lin08].

Rezultaty:

- Źródłem są w głównej mierze przechwycone cząsteczki wiatru słonecznego oraz materiał uwolniony podczas zderzeń komet i meteorytów z powierzchnią Księżyca. Dla atomów, głównie helu-4 oraz argon-40 źródłem może być również odgazowywanie wnętrza Księżyca.
- W skład atmosfery księżycowej wchodzą głównie trzy gazy: neon, hel, wodór w równych proporcjach. Zaobserwowano również niewielkie ilości metanu, dwutlenku węgla, amoniaku oraz wody. Ponadto zaobserwowano argon-40, którego znacznie większe wartości były notowane w trakcie sejsmicznej aktywności. Argon-40 jest produktem rozpadu radioaktywnego potasu-40 we wnętrzu Księżyca.



Ryc. 89. Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE). Źródło: [Tea99].

Lunar Atmospheric Detector (LAD)

Tab. 12. Lunar Atmospheric Detector (LAD)

Przedmiot badania:

- Określenie gęstości i temperatury neutralnej atmosfery księżycowej, włączając w to chwilowe wariacje będące wynikiem stochastycznych procesów lub wynikające z aktywności słonecznej i pory doby księżycowej.

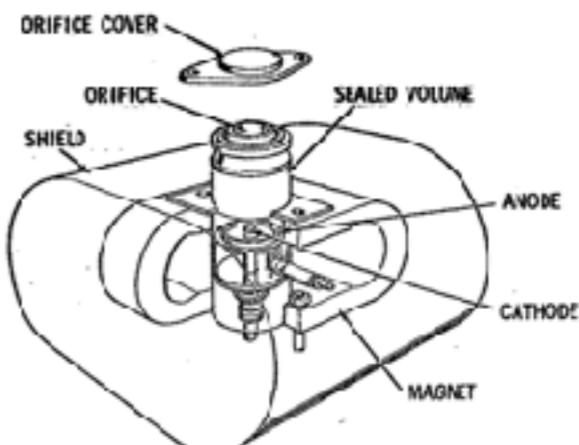
Materiały i metody:

- Pomiar ciśnienia całkowitego neutralnych (nieaktywnych) cząstek, a następnie za pomocą urządzenia wykrywającego jonosferę (ang. Ionosphere Detector) pomiar składu zjonizowanych (aktywnych) cząsteczek. Oczekiwano, iż rozkład gęstości będzie się zwiększał podczas dnia księżycowego oraz spadał w trakcie nocy

Rezultaty:

- Określenia składu pierwiastków oraz izotopów gazów szlachetnych, tj. hel, neon i argon, we wietrze słonecznym

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | Southwest Center for Advanced Studies, USA |
| Misja | Apollo 11, 12 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Atmospheric Detector |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Wykrywacz atmosfery Księżyca |
| Działalność | Badanie atmosferyczne |



LUNAR ATMOSPHERIC DETECTOR
(COLD CATHODE ION GAUGE INSTRUMENT)

Ryc. 14. Diagram przedstawia eksperyment Lunar Atmospheric Detector (LAD). Źródło: [NAS69].

Lunar Dust Detector (LDD)

Tab. 13. Lunar Dust Detector (LDD)

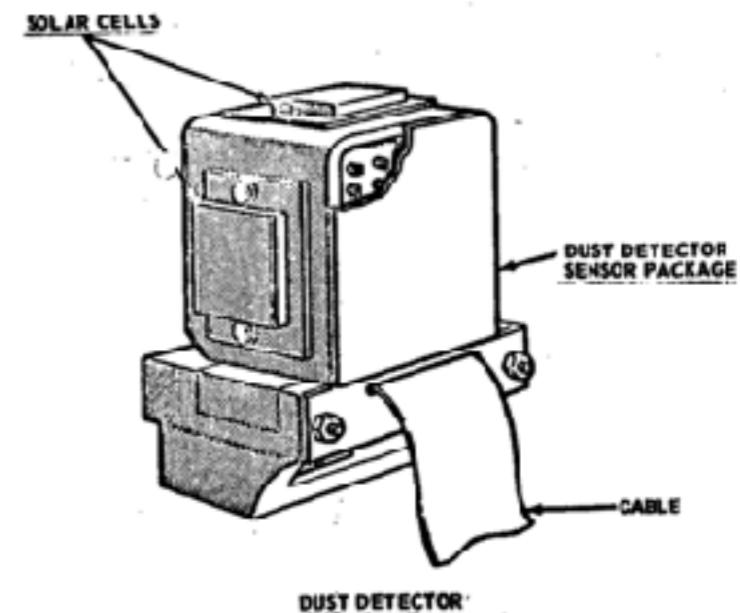
Przedmiot badania:

- Pomiar złogów regolitu Księżycowego na urządzeniach elektronicznych i mechanicznych
- Monitorowanie długotrwałej deterioracji fotokomórek paneli na skutek promieniowania oraz fluktuacji termicznej

Materiały i metody:

- Wyliczany na podstawie różnicy w wartości luminacji zarejestrowanej przez fotokomórki paneli fotowoltaicznych w czasie

| | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Ośrodek badawczy | NASA Manned Spacecraft Center, USA |
| Misje | Apollo 11, 12, 14, 15 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Dust Detector |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Wykrywacz pyłu księżycowego |
| Działalność | Petrofizyka |



Ryc. 15. Diagram przedstawia eksperyment Lunar Dust Detector (LDD). Źródło: [NASb9].

Rezultaty:

- Warstwa pyłu zgromadzona na urządzenia okazała się być znacznie niższa od oczekiwanej.

Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)

Tab. 14. Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)

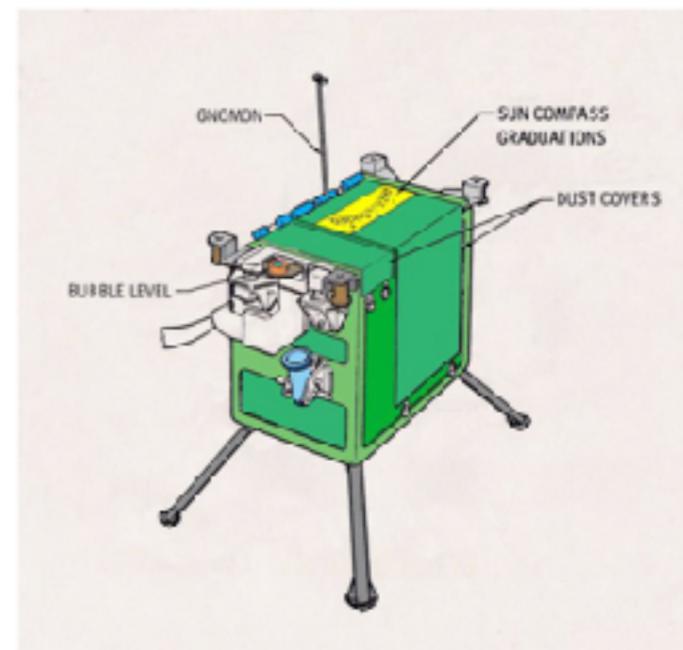
Przedmiot badania:

- Zbadanie częstotliwości i charakteru uderzania małych obiektów o powierzchnię Księżyca
- Pomiar materiału wyrzucanego w skutek takiego zdarzenia

Materiały i metody:

- Eksperyment składał się z trzech płyt sensorów skierowanych w różne kierunki. Pozwalało to na pomiar prędkości i kierunku poruszania się uderzających obiektów.

| | |
|------------------------------|---|
| Ośrodek badawczy | NASA Goddard Space Flight Center, USA |
| Misja | Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Ejecta and Meteorite Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Badanie księżycowego i meteorolowego materiału piroklastycznego |
| Dziedzina | Wulkanologia |



Ryc. 17. Diagram przedstawia eksperyment Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM). Źródło: [Tex99].

Rezultaty:

- Analiza rezultatów wykazała, że drobny pył stanowiący warstwę regolitu księżycowego jest transportowany z niewielką prędkością pomiędzy różnymi regionami w trakcie księżycowego wschodu słońca.



Ryc. 96. Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM). Źródło: [Tex99].

Lunar Ionosphere Detector (LID)

Tab. 15. Lunar Ionosphere Detector (LID)

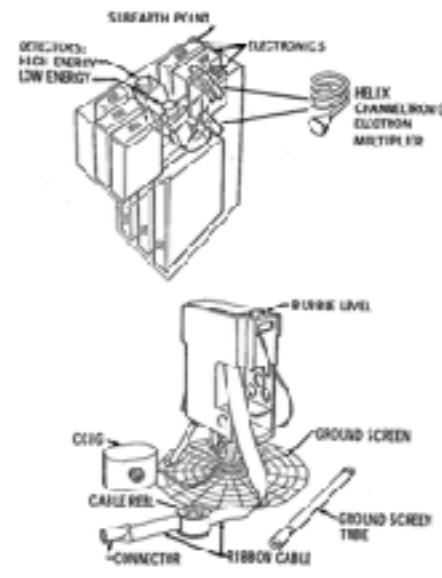
Przedmiot badania:

- Zbadanie naładowanych cząstek w księżycowej atmosferze
- Zrozumienie procesów chemicznych, radioaktywnych oraz wulkanicznej aktywności, jak również składu chemicznego wiatru słonecznego

Materiały i metody:

- Składał się z dwóch wykrzywionych płyt ekranów, mierzących energię dodatnich jonów. Jedna płyta mierzyła jony z energiami w zakresie od 0,2 eV do 48,6 eV.
- Zawierała również filtr prędkości w postaci przecinającego się pola magnetycznego i elektrycznego. Urządzenie było zaprojektowane do spowalniania jonów z prędkościami rzędu od 4 km/s do 935 km/s

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Ośrodek badawczy | |
| Misja | Apollo 12 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Ionosphere Detector |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Wykrywacz ionosfery księżycowej |
| Działanie | Elektromagnetyzm |



ION DETECTOR INSTRUMENT

Ryc. 18. Diagram przedstawia eksperyment Lunar Ionosphere Detector (LID). Źródło: [NAS69].

Rezultaty:

- Badając charakter spowolnienia i prędkość pierwotną uzyskano informację na temat masy cząstek wiatru słonecznego dla energii od 10 eV do 3500 eV.

Lunar Portable Magnetometer (LPM)

Tab. 16. Lunar Portable Magnetometer (LPM)

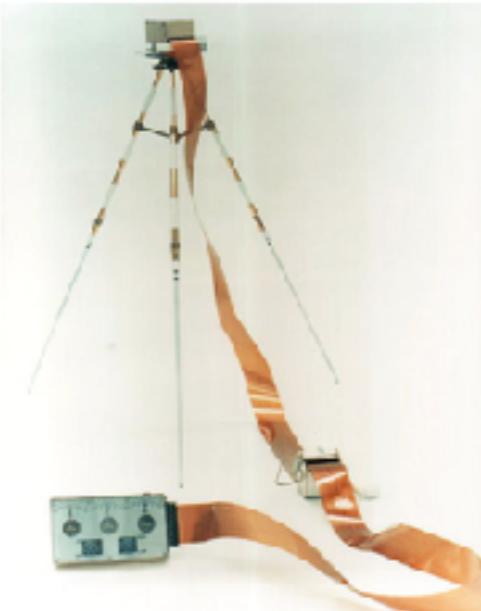
Przedmiot badania:

- Mapowanie pola magnetycznego Księżyca

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | Centrum badań naukowych NASA AMES, USA |
| Misja | Apollo 14, 16 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Portable Magnetometer |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Przenośny księżycowy magnetometr |
| Dziedzina | Magnetometria |

Materiały i metody:

- układ elektroniczny zawierający przełączniki i trzy wskaźniki wyjściowe
- Głowicę sensora zamocowano na trójnogu i rozstawiano 15 metrów od MET w celu dokonania odczytów
- Zakres pomiarowy instrumentu wynosił 256 nT
- Astronauci przenosili urządzenie podczas przemieszczania się po powierzchni Księżyca zarówno z wykorzystaniem MET (Apollo 14) jak i LRV (Apollo 16)



Ryc. 19. Zdjęcie przedstawia eksperyment Lunar Portable Magnetometer (LPM) w laboratorium. Źródło: NASA S70-26721 [LinH].

Rezultaty:

- Pierwszy pomiar dokonano w niewielkiej odległości od punktu lądowania, jednakże poza zasięgiem wpływu pola magnetycznego lądownika LM.
- Zmierzona wartość wynosiła 43 nT. Drugiego pomiaru dokonano na krawędzi krateru Cone (ang. Cone Crater). Zarejestrowano wartość wynoszącą 103 nT.
- Pomiary te były znacznie przewyższające wartości oczekiwane. Wcześniejsze dane zebrane z wykorzystaniem orbitujących Księżyca satelitów wykazały jednoznacznie, że uśredniona wartość pola magnetycznego nie może przekraczać 10 do 12 nT.
- Efekt ten jest rezultatem naturalnego procesu magnetyzacji skał Księżycoowych. Zachodzenie tego procesu występuje również na Ziemi np. w naturalnie występującym i silnie magnetyzującym minerałe lodestone.

Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)

Przedmiot badania:

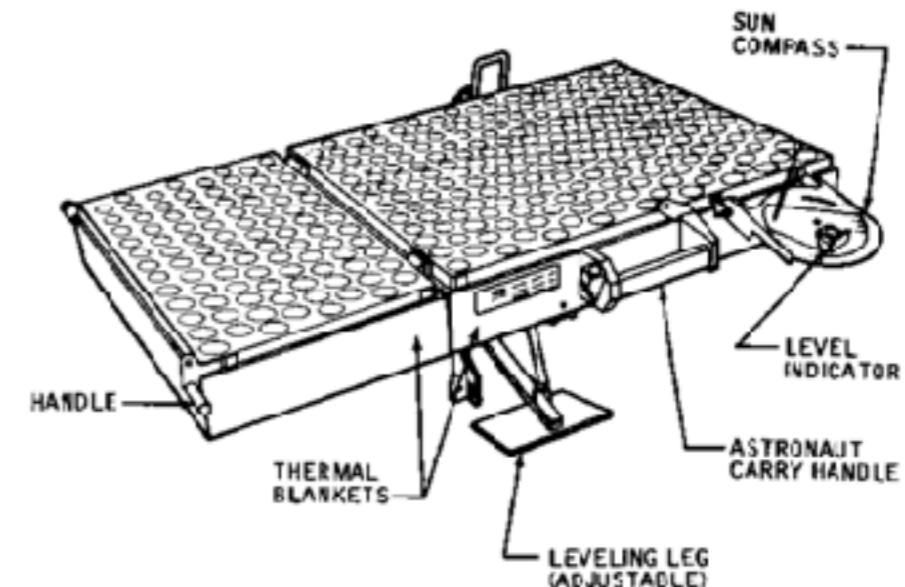
- Precyjne określenie odległości Ziemi i Księżyca

Tab. 17. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | |
| Misje | Apollo 11, 14, 15 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Laser Ranging Retro-reflector |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Zwierciadło pomiaru dla dalmierza laserowego |
| Działanie | Astrometria |

Materiały i metody:

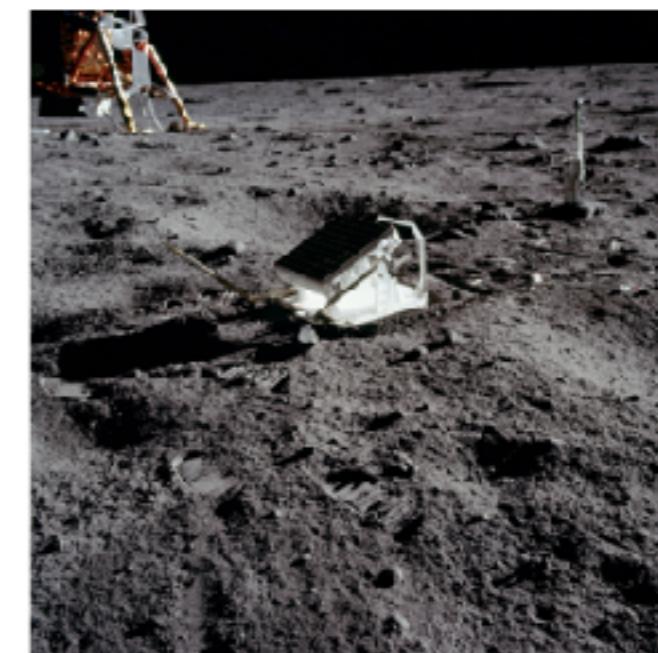
- Powierzchnia odbijająca pasywnego eksperymentu Laser Ranging Retro-reflector (LRRR) składało się z kostek topionej krzemionki.
- Dla misji Apollo 11 i Apollo 14 liczba kostek wynosiła 100. W misji Apollo 15 wykorzystywano matryce posiadające 300 kostek.
- Powierzchnię zaprojektowano tak, aby odbijała światło lasera równolegle do kąta jego padania



Ryc. 11. Diagram przedstawia eksperyment Laser Ranging Retro-reflector (LRRR) w konfiguracji otwartej.
Źródło: [Tea99].

Rezultaty:

- Wykorzystując dane precyjnie pomierzonych odległości, ustalono, iż powierzchnia Księżyca ulega znacznym ugięciom i zakrzywieniom na skutek oddziaływania pola grawitacyjnego Ziemi.
- Do zmian tych dochodzi w trakcie różnych pozycji Księżyca na orbicie okołoziemskiej.



Ryc. 48. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR). Źródło: [Tea99].

Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)

Tab. 18. Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)

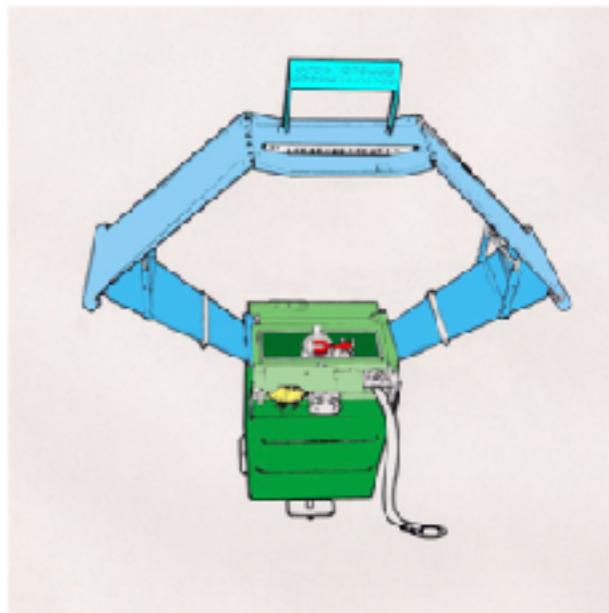
Przedmiot badania:

- Potwierdzenie istnienia fal grawitacyjnych

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | University of Maryland, USA |
| Misja | Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Surface Gravimeter Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Grawimetryczny pomiar powierzchni Księżyca |
| Działność | Grawimetria |

Materiały i metody:

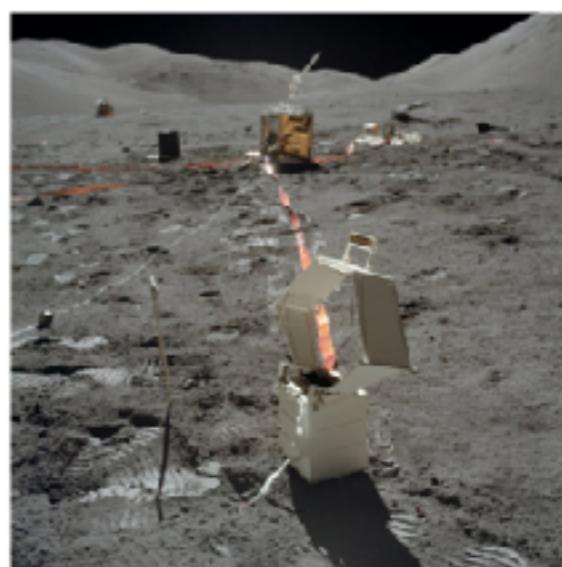
- Dokonano pomiaru odpowiedzi Księżyca na przeciągania pływowe (ang. tidal forces) Ziemi
- Badano również wolną oscylację Księżyca w cyklach 15-sto minutowych i dłuższych.
- Zmierzono pionową składową zjawisk sejsmicznych o częstotliwościach dochodzących do 16 Hz.



Ryc. 23. Diagram przedstawiający eksperiment Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG). Kolorem niebieskim zaznaczono osie przeciwsłoneczne [Lin08].

Rezultaty:

- Błąd projektu urządzenia uniemożliwił otrzymanie naukowo znaczących wyników



Ryc. 24. Zdjęcie wykonane podczas EVA 3 przedstawia eksperiment Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG). W tle widać stację centralną z elementem RTG po lewej i modułem lądownika LM. Przed wykonaniem tego zdjęcia astronauta Jacki Schmitt tymczasowo pozostawił UHT w pobliżu urządzenia LSG. Źródło: NASA/AS17-134-20501 [Lin08].

Lunar Surface Magnetometer (LSM)

Przedmiot badania:

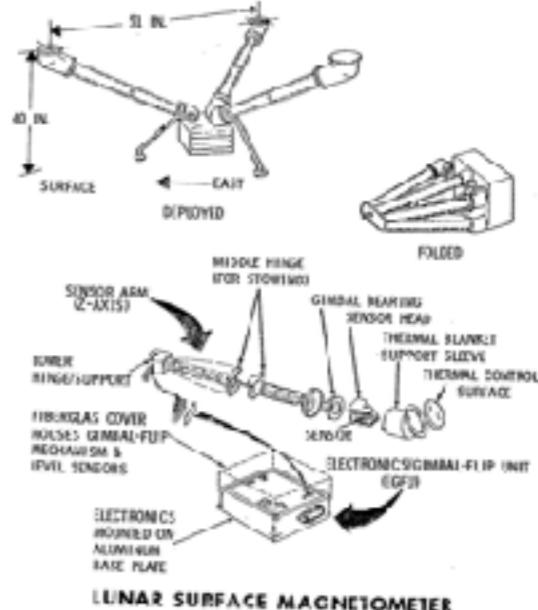
- Pomiar zmiany pola magnetycznego Księżyca w czasie

Tab. 19. Lunar Surface Magnetometer (LSM)

| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | University of Arizona, USA |
| Misje | Apollo 12, 15, 16 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Surface Magnetometer |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Magnetometryczny pomiar powierzchni Księżyca |
| Dziedzina | Magnetometria |

Materiały i metody:

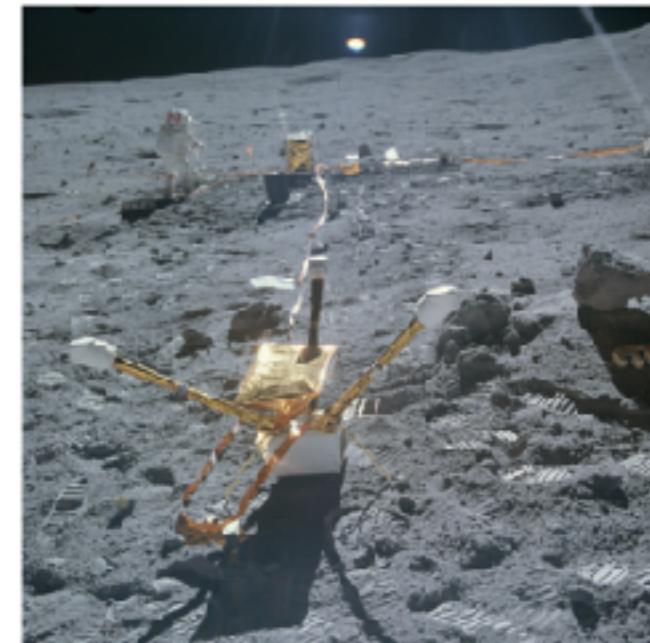
- Trójosiowy magnetometr transduktorowy
- Magnetometr pracujący w trzech trybach:
 - Tryb rozpoznania lokacji (ang. Site Survey Mode)
 - Tryb naukowy (ang. Scientific Mode)
 - Tryb kalibracyjny (ang. Calibration Mode)



Ryc. 25. Diagram przedstawia eksperiment Lunar Surface Magnetometer (LSM). Źródło: [NAS69].

Rezultaty:

- Księżyc w przeciwieństwie do Ziemi nie posiada pola magnetycznego. Jest to spowodowane brakiem wewnętrznego procesu wywołującego efekt dynamo.
- Magnetometr wykrył nikłe pole magnetyczne. Eksperyment LSM udokumentował stałą wartość na poziomie 38 nT dla miejsca lądowania Apollo 12 i 6 nT dla Apollo 15
- Uważa się, że magnetyzm powierzchni Księżyca jest pozostałością z czasu, gdy jego pole magnetyczne było aktywnie tworzone przez jądro



Ryc. 26. Lunar Surface Magnetometer (LSM). Źródło: [Tsa99].

Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)

Tab. 20. Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)

Przedmiot badania:

- Pomiar azymutów i prędkości fal sejsmicznych

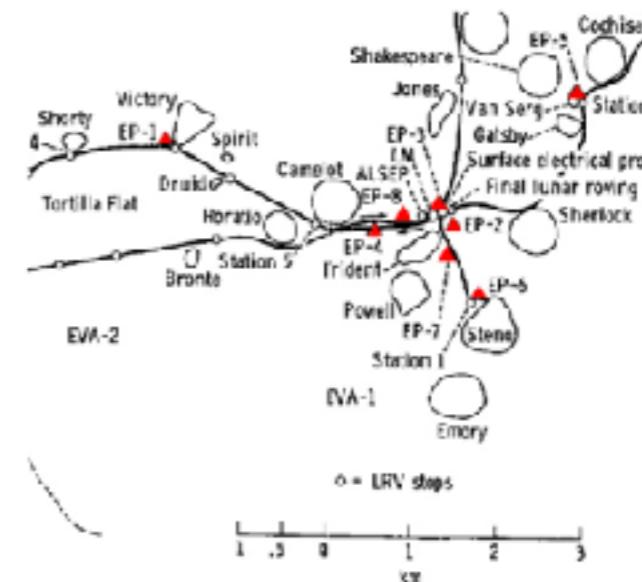
| | |
|------------------------------|--|
| Ośrodek badawczy | Stanford University, USA |
| Misje | Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Lunar Seismic Profiling Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Profilowanie sejsmiczne powierzchni Księżyca |
| Dziedzina | Sejsmika |

Materiały i metody:

- Urządzenie zbierało dane sejsmiczne z sieci 4 geofonów ułożonych w centrum, oraz w kątach 90-cio metrowego metrowego trójkąta równobocznego.
- Ładunki wybuchowe na powierzchni wywoływały fale sejsmiczną o różnej mocy w celu profilowania sejsmicznego punktu lądowania Apollo 17

Rezultaty:

- Dokładniejszy pomiar niż Active Seismic Experiment (ASE) podczas Apollo 14 i Apollo 16.



Ryc. 29. Mapa przedstawia rozmieszczenie eksperymentu Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Kolorem czerwonym wyróżniono lokalizację ładunków wybuchowych rozmieszczonych podczas eksperymentu. Źródło: Figure 10-7 [PBB 153].



Ryc. 92. Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [Ter99].

Neutron Probe Experiment (NPE)

Przedmiot badania:

- Określenie prędkości mieszania się warstw regolitu
- Pomiaru tempa wychwytu niskoenergetycznych neutronów jako funkcji głębokości regolitu księżycowego

Materiały i metody:

- 2,4 metrowy pręt z przytwierdzonymi detektorami
- Pręt umieszczano w otworach wiertniczych utworzonych na potrzeby pobrania próbek podpowierzchniowych
- Detektory rejestrowały liczbę neutronów przenikających poszczególne warstwy na różnych głębokościach

Rezultaty:

- Mieszania się warstw na głębokości 1 cm dochodzi raz na milion lat
- Mieszanie się warstwy 1 metra zachodzi co miliard lat
- Tempo zostało oszacowane na podstawie określenia liczby radioaktywnych izotopów w skorupie księżycowej pobranej z rdzenia otworu wiertniczego jak również na podstawie chemicznych pomiarów tych próbek

Tab. 22. Neutron Probe Experiment (NPE)

| Ośrodek badawczy | California Institute of Technology, USA |
|------------------------------|---|
| Misja | Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Neutron Probe |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Sonda neutronowa |
| Działalność | Radiometria |

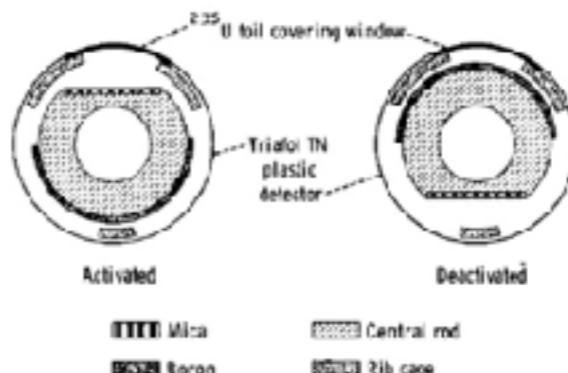


FIGURE 18-1.—A schematic, cross-sectional view of the lunar neutron probe, illustrating the disposition of the targets and detectors in the activated (on) and deactivated (off) modes. The boron targets and mica detectors are mounted on the central rod; the plastic detectors and uranium targets are mounted on the rib cage. When activated, the targets face their respective detectors; when deactivated, the target and detector systems are 180° out of alignment.

Ryc. 31. Diagram przedstawia eksperiment Neutron Probe Experiment (NPE). Źródło: Fig. 18-1 [PBB-73].

Passive Seismic Experiment (PSE)

Przedmiot badania:

- Określenie właściwości podpowierzchniowych i pomiaru ekstremalnie niewielkich wibracji powierzchni księżycowej spowodowanej przez odległe trzęsienia ziemi, jak również wywołane przez człowieka eksplozje i uderzenia statków kosmicznych

Materiały i metody:

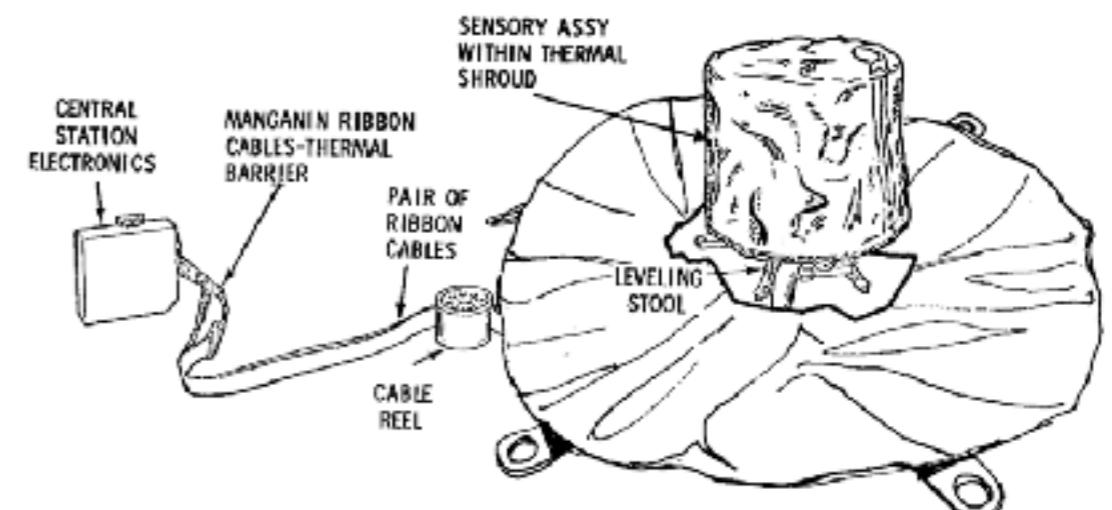
- Badanie propagacji fal sejsmicznych przez Księżyc i pozwoliło na bardzo szczegółowe określenie jego wewnętrznej struktury
- W przypadku zaobserwowania zjawiska sejsmicznego przez trzy lub więcej oddalonych od siebie seismometrów, czas i lokacja wydarzenia mogła zostać określona z dużą precyzją.
- Codziennie rejestrowano uderzenia meteorytów oraz średnio dwa księciowe trzęsienia ziemi miesięcznie.
- Pomiar był dokonywany do głębokości 800 km.

Rezultaty:

- W ciągu ośmiu lat z zbierania danych przez urządzenia pakietu ALSEP, seismometry zarejestrowały 10 tys. wstrząsów tektonicznych i 2000 uderzenia meteorytów
- Uważa się że skorupa jest wielowarstwowa i ma miąższość 50 km. Złożona jest z 20 kilometrowej warstwy przypowierzchniowej. Góra część płaszcza księżyca ma miąższość 500 km i złożona jest z jednorodnej warstwy oliwinu oraz piroksenu. Poniżej tej wartości dane sejsmiczne wskazują na bogate w żelazo jądro.

Tab. 23. Passive Seismic Experiment (PSE)

| | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Ośrodek badawczy | University of Texas, USA |
| Misja | Apollo 12, 14, 15, 16 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Passive Seismic Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Pasywny eksperiment sejsmiczny |
| Dziedzina | Sejsmika |



PASSIVE SEISMIC EXPERIMENT

Ryc. 32. Diagram przedstawia eksperiment Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [Tea99].



Ryc. 33. Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [Tea99].

Passive Seismic Experiment Package (PSEP)

Przedmiot badania:

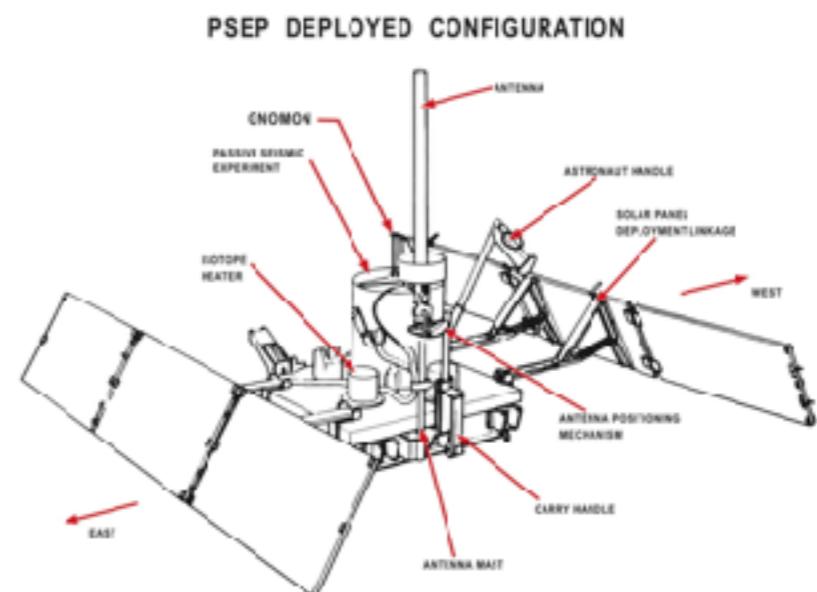
- Określenia właściwości przypowierzchniowych i pomiaru ekstremalnie niewielkich wibracji powierzchni księżycowej spowodowanej przez odległe trzęsienia ziemi, jak również wywołane przez człowieka eksplozje i uderzenia statków kosmicznych.

Materiały i metody:

- Za pomocą urządzeń śledzono odpowiedź sejsmiczną uderzeń meteorytów i księżycowych trzęsień ziemi.

Tab. 24. Passive Seismic Experiment Package (PSEP)

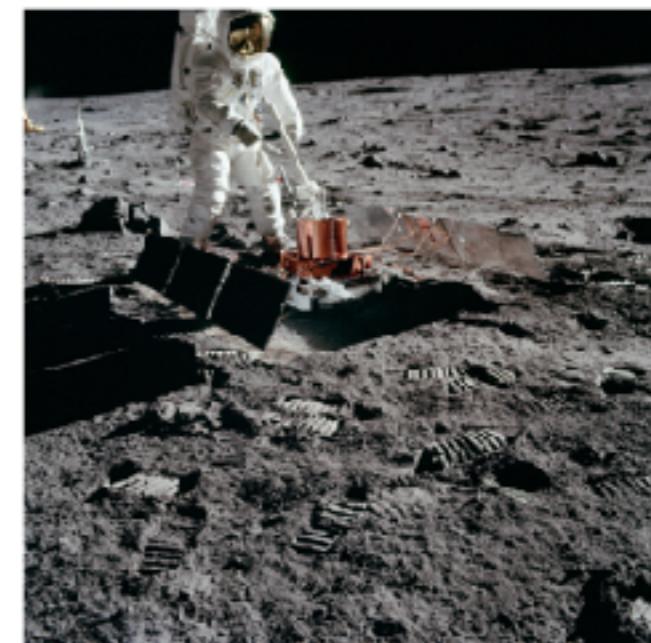
| Ośrodek badawczy | |
|------------------------------|--|
| Misja | Apollo 11 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Passive Seismic Experiment Package |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Zestaw eksperymentalny eksperymentu sejsmicznego |
| Dziedzina | Sejsmika |



Ryc. 33. Diagram przedstawia eksperiment Passive Seismic Experiment Package (PSEP). Źródło: [Tea99].

Rezultaty:

- W czasie około miesięcznej pracy operacyjnej urządzenia zarejestrowano blisko 200 kolizji meteorytowych.
- W późniejszych misjach eksperyment został zmodyfikowany i występował pod nazwą Passive Seismic Experiment (PSE).



Ryc. 49. Passive Seismic Experiment Package (PSEP). Źródło: [Tea99].

Surface Electrical Properties Experiment (SEP)

Tab. 25. Surface Electrical Properties Experiment (SEP)

Przedmiot badania:

- Określenie przewodności elektromagnetycznej, absorpcji i charakterystyki odbicia powierzchni Księżyca oraz warstw przypowierzchniowych w celu późniejszego wytworzenia modelu geologicznego górnych warstw skorupy księżyca
- Określenie warstw, poszukiwanie złóż wody podpowierzchniowej i pomiar właściwości in situ jako funkcji głębokości

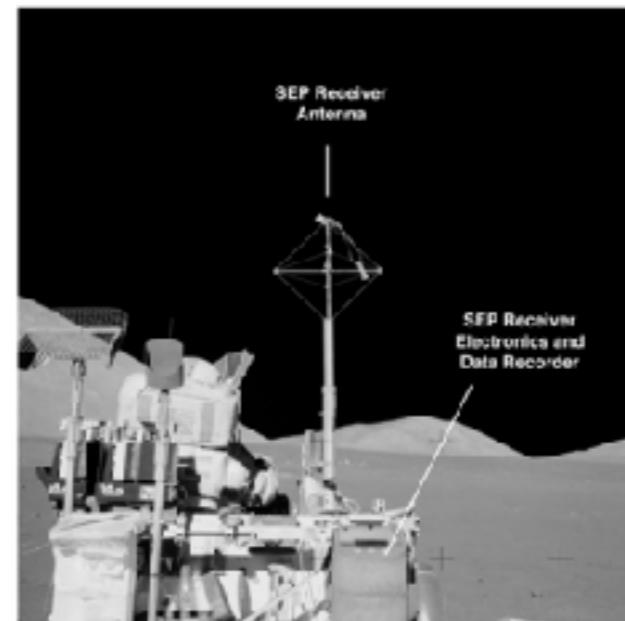
Materiały i metody:

- wieloczęstotliwościowej transmitującej anteny rozłożonej w pobliżu lądownika księżycowego LM i przenośnej szerokopasmowej wzajemnie ortogonalnej anteny odbiorczej z odzyskiwalnym rejestratorem znajdującej się na LRV
- Transmiter wytwarzał falę ciągłą na częstotliwościach 1; 2,2; 4; 8,1; 16 i 32,1 MHz

Rezultaty:

- Ponadto wykazano, że górne 2 km skorupy Księżyca są ekstremalnie wysuszone, co jest spójne z pomiarami składu skał księżycowych
- Niesprawność spojów na tylnej stronie rzepu, który przytrzymywał osłonę zamkniętą spowodowała przegrzanie urządzenia, co znaczaco wpłynęło na ilość użytecznych danych zebranych w trakcie eksperymentu

| | |
|------------------------------|---|
| Ośrodek badawczy | Massachusetts Institute of Technology, USA |
| Misja | Apollo 17 |
| Nazwa eksperymentu (j. ang.) | Surface Electrical Properties Experiment |
| Nazwa eksperymentu (j. pol.) | Pomiar właściwości elektrycznych powierzchni Księżyca |
| Dziedzina | Elektromagnetyzma |



Ryc. 25. Zdjęcie przedstawia odbiornik Surface Electrical Properties Experiment (SEP) zamontowany na tyле siedzenia LMP zamontowanego na bazie LRV. Źródło: NASA/AS17-135-20543 [Lin08].



Ryc. 26. Zdjęcie przedstawia urządzenie Surface Electrical Properties Experiment (SEP). Astronauta Jack Schmitt jest w trakcie schylania się w celu otwarcia trójdielnego zestawu paneli falowiodacyjnych, które generują zasilanie dla SEP. Transmitem jest dokalbowany zaprzeciglowy nadruk lązury LRV, który Gene Cernan położył przed rozpoczęciem eksperymentu. Na zdjęciu widać położenie kablowej anteny w identyczny położeniu (górna lewa strona), wschodnią (dolna lewa strona) i wschodnią (dolna prawa strona). Zdjęcie jest częścią porozumienia udostępnionej przez David Nather, który otrzymał astronauta Cernan wykonał podczas prowadzenia eksperymentu. Zdjęcie przedstawia również zasłonięcie słońca (ang. solar tape) ułożony przeciwko słońcu w celu przeciwdziałania oświetlonym paneli słonecznych. Źródło: NASA/AS17-134-21478 [Lin08].

Suprothermal Ion Detector Experiment (SIDE)

Przedmiot badania:

- Pomiar własności strumienia pola magnetycznego, liczby cząstek, gęstości, prędkości i relatywnej energii naładowanych dodatnio jonów i ich wpływu na powierzchnię Księżyca

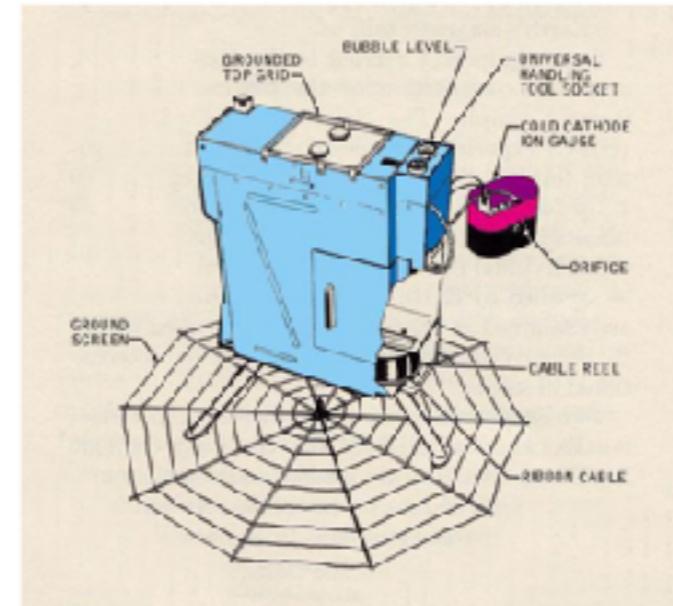
TODO:
Tabelka

Materiały i metody:

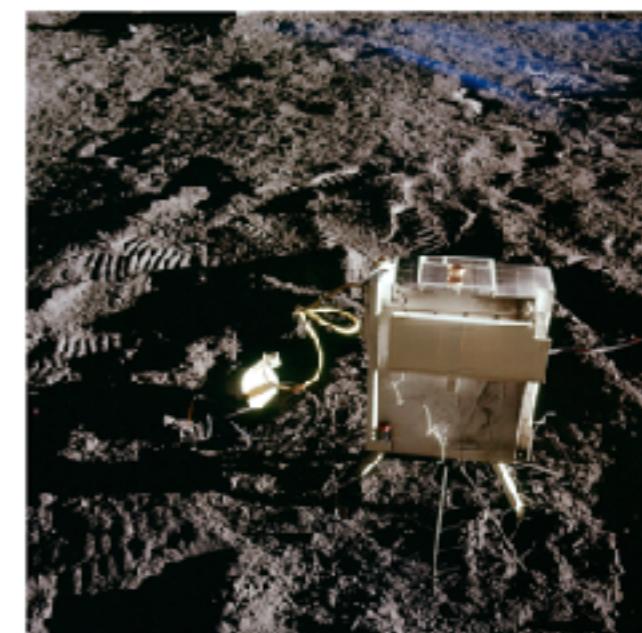
- Urządzenie pomiarowe SIDE/CCIG wyposażono w kierunkowy sensor zorientowany w płaszczyźnie ekiptycznej pod kontem 15 stopni od Księzycowego lokalnego południka.
- Ze względu na znaczną różnicę w długościach geograficznych miejsc lądowań, anteny urządzenia skierowano pod kątem 38 stopni na zachód (Apollo 12), 2 stopnie na wschód (Apollo 14) i 19 stopni na zachód (Apollo 15).

Rezultaty:

- Zaobserwowane cząsteczki stanowiły głównie atomy wodoru jak i helu. Obserwacja ta wynikała ze składu wiatru słonecznego.



Ryc. 37. Diagram przedstawia połączenie eksperymentów Suprothermal Ion Detector Experiment (SIDE) / Cold Cathode Ion Gauge (CCIG) w konfiguracji dla Apollo 12. Źródło: [Lin98].



Ryc. 56. Suprothermal Ion Detector Experiment (SIDE) / Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). Źródło: [Tsa99].

Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

Przedmiot badania:

- Określenia składu pierwiastków oraz izotopów gazów szlachetnych, tj. hel, neon i argon, we wietrze słonecznym

TODO:
Tabelka

Materiały i metody:

- Eksperyment składał się z folii aluminiowej o grubości 0,5 mm.
- Folia miała na celu uwieźienie poszczególnych cząsteczek wiatru słonecznego w grubej na kilkaset warstw atomowych strukturze.
- Została zaprojektowana tak, aby pozwolić na przejście promieniowaniu kosmicznemu bez interakcji.

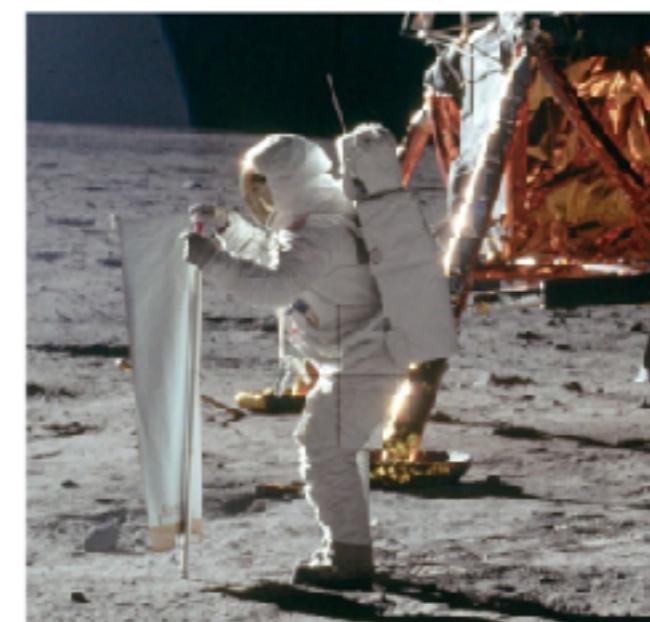


Ryc. 39. Diagram przedstawia eksperyment Solar Wind Composition Experiment (SWCE). Źródło: [NAS09].

Rezultaty:

- Body Level One
 - Body Level Two
 - Body Level Three
 - Body Level Four
 - Body Level Five

TODO:
Rezultat



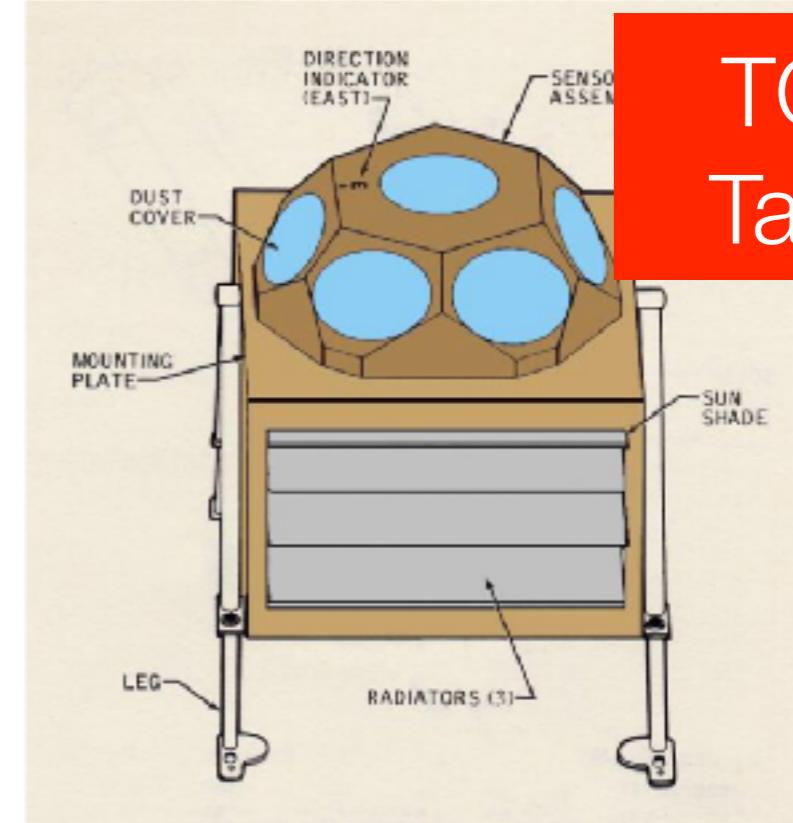
Ryc. 56. Astronauta Buzz Aldrin w trakcie rozmawiania eksperymentu Solar Wind Composition Experiment (SWCE). Źródło: [Tea99].

Solar Wind Spectrometer (SWS)

TODO:
Tabelka

Przedmiot badania:

- pomiar wiatru słonecznego na powierzchni księżyca, określenie jego głównych właściwości i interakcji z Księżycem



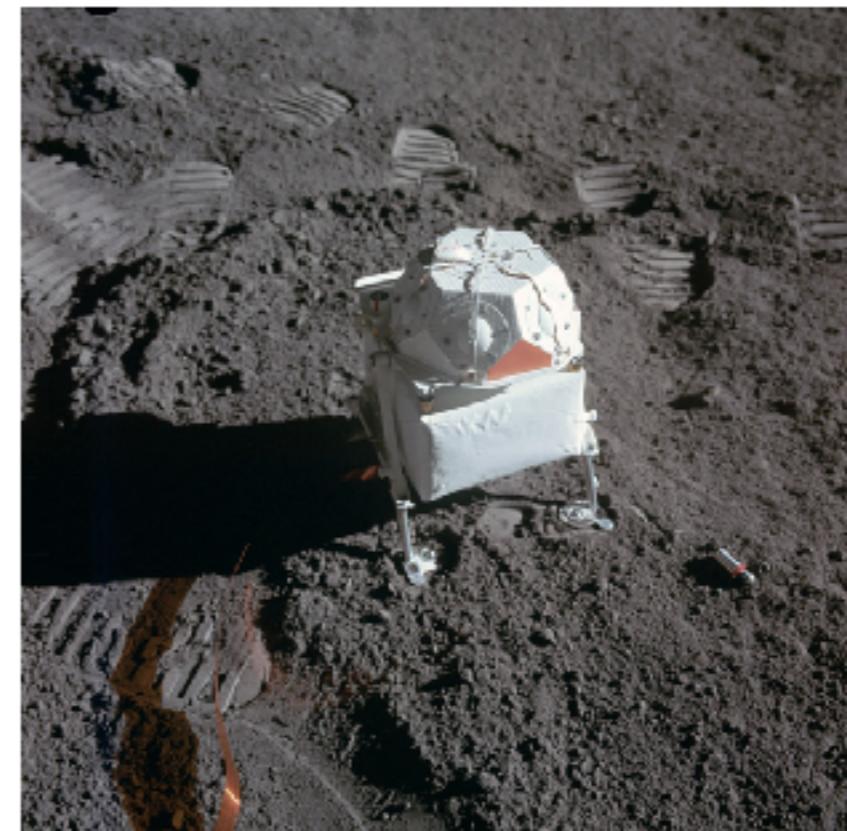
Ryc. 41. Diagram przedstawia eksperyment Solar Wind Spectrometer (SWS). Źródło: [Lin08].

Materiały i metody:

- 7 sensorów zlokalizowanych pod pokrywą chroniącą przed pyłem księżycowym
- Masa: 5,44 kg, napięcie wejściowe: 28,5 V, średnia wartość pobieranej mocy: 3,2 W
- Zakresy elektryny: modulacja wysokiego wzmacnienia: 10,5 - 1376 eV (elektronowoltów), modulacja niskiego wzmacnienia: 6,2 - 817 eV,
- Zakresy protony: modulacja wysokiego wzmacnienia: 75 - 9600 eV, modulacja niskiego wzmacnienia: 45 - 5700 eV,
- zakres obserwacji: 6,0 sr (steradianów), rozdzielcość kątowa: około 15°,
- minimalny wykrywalny strumień pola: 106 cząstek/cm²/s.

Rezultaty:

- Wiatr słoneczny jest główną zewnętrzną siłą oddziałyującą na powierzchnię na Księżyca
- SWS zrealizowany podczas misji Apollo 12 przekroczył oczekiwania naukowców i wysyłał dane nie tylko o protonach ale również o fotoelektronach jeszcze przez kilka minut po zachodzie słońca
- Eksperyment SWS pokazał, że wiatr słoneczny zachowuje się tak samo wolnej przestrzeni kosmicznej jak poza polem magnetycznym Ziemi, jak podczas przechodzenia przez jej ogon magnetyczny
- szacowano, że Słońce każdej sekundy deponuje wartość równą 1 kilotonie energii w polu magnetycznym Ziemi. Efektem tego są zorze polarne, procesy zachodzące w jonosferze oraz zmiany pogodowe



Ryc. 74. Solar Wind Spectrometer (SWS). Źródło: [Tea99].

Traverse Gravimeter Experiment (TGE)

Przedmiot badania:

- wykonany w trakcie misji Apollo 17 w celu pomiaru wariacji przyspieszenia grawitacyjnego w skutek podpowierzchniowej struktury regionu Taurus-Littrow



Materiały i metody:

- Pomiary grawimetryczne były wykonane w 12 miejscach pomiarowych podczas trzeciego EVA.
- W każdej stacji geologicznej, Gene Cernan zdejmował TGE z tyłu łazika i rozstawiał na podłożu w pozycji horyzontalnej dokonywał pomiaru. Po ukończeniu rejestracji odczytywał wynik na wskaźniku. Wyniki były przekazane drogą radiową przez załogę na Ziemię do centrum kontroli misji.
- Interpretacja wyników wymagała znajomości topografii miejsca lądowania. Dane te zostały uzyskane za pomocą zdjęć stereofotograficznych z orbity Księżyca.

Rezultaty:

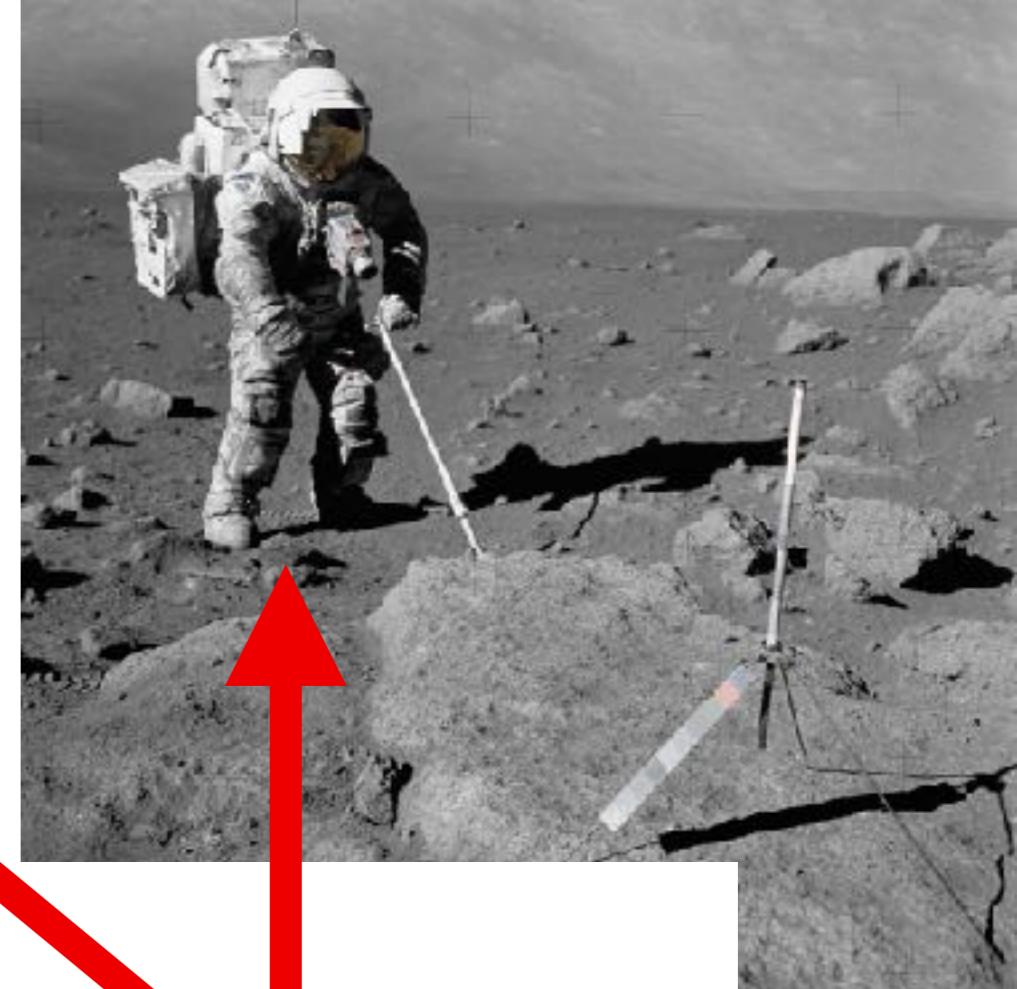
- Analiza wyników wykazała, że warstwa morza bazaltowego znajdującego się w pobliżu miejsca lądowania ma miąższość 1 km. Wartość ta jest mniejsza niż określona w Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)



Ryc. 43. Zdjęcie przedstawia eksperyment niebieski Traverse Gravimeter Experiment (TGE) zamontowany na tylnym siedzeniu łazika LRV. Astronauta Gene Cernan wykonał to zdjęcie w celu dokumentacji wymiany "blotnika". Źródło: NASA/AS17-137-20979 [Tea99]

ERC 2016

- Harrison "Jack" Schmitt
- Mateusz Matt Harasymczuk



Najważniejsze odkrycia geofizyczne programu Apollo

1. Księżyc nie jest obiektem pierwotnym (ang. primordial), który wyewoluował jako planeta z wewnętrznym podziałem na warstwy podobnym do Ziemi.
2. Księżyc jest starożytnym obiektem, który przechowuje informacje o wczesnej historii układu słonecznego (pierwszy miliard lat). Informacje te są wspólne dla wszystkich planet.
3. Najmłodsze skały Księżycove są w podobnym wieku co najstarsze minerały znalezione na Ziemi. Najwcześniejsze procesy i wydarzenia, które ukształtowały oba ciała mogą obecnie być odkryte wyłącznie na Księzycu.
4. Pochodzenie Księżyca i Ziemi jest podobne; oba ciała uformowane są na bazie różnych proporcji z tego samego źródła minerałów.
5. Księżyc nie posiada śladów życia, żadnych żyjących organizmów, skamielin, czy związków organicznych.
6. Wszystkie skały księżycowe pochodzą z procesów wysokotemperaturowych bez uczestnictwa wody lub z jej nieznacznym udziałem. Skały księżycove dzielą się na trzy typy: bazalty, anortozyty, brekcje.
7. Na wczesnym etapie historii Księżyca jego powierzchnię stanowił "oceán magmy" rozciągający się do znacznych głębokości. Księżycove wyżyny zawierają pozostałości pierwotnych skał o niskiej gęstości, które wypełniły na powierzchnię oceanu magmy.
8. Zjawisko oceanu magmy poprzedzało czas wielkich zderzeń z asteroidami, które utworzyły baseny wypełnione strumieniami lawy.
9. Księżyc jest nieznacznie masowo asymetryczny. Prawdopodobnie jest to spowodowane wpływem pola grawitacyjnego Ziemi w trakcie ewolucji Księżyca. Jego skorupa jest grubsza po niewidocznej z Ziemi stronie, lecz większość basenów wulkanicznych i punktów znacznej koncentracji masy znajduje się po bliższej stronie.
10. Powierzchnia Księżyca pokryta jest stosem fragmentów skalnych i pyłu zwanego regolitem księżycowym. Regolit przechowuje unikalną historię aktywności słonecznej. Stanowi to ważny element w zrozumieniu procesów zmiany klimatu na Ziemi.

Ciekawostki geologiczno-geofizyczne

- Apollo 14 i skała z Ziemi
- Obecnie najpopularniejszą teorią tłumaczącą powstanie ziemskiego satelity jest teoria wielkiego zderzenia
- Dane zebrane przez Clementine sugerują obecność lodu w rejonach bieguna południowego
- Wskazania spektrometru neutronowego Lunar Prospector wykazują nadzwyczaj wysoką koncentrację wodoru w wierzchnich warstwach regolitu na obszarach okołobiegunowych. Ilość znajdującej się tam wody szacuje się na około 1 km^3
- W 2008 Chandrayaan-1 potwierdził obecność lodu-wodnego na powierzchni
- We wrześniu 2009 roku stwierdzono stałe występowanie wody oraz hydroksylu, wchodzących w reakcje z cząsteczkami skał i pyłu
- Przywiezione w czasie wypraw Apollo księżycowe skały również zawierały śladowe ilości wody, jednak uznano wtedy, że woda dostała się do próbek już na Ziemi na skutek nieszczelności pojemników

Bibliografia

- [AAB+72] Joseph P. Allen, Keith F. Anderson, Richard R. Baldwin, Roy L. Cox, Helen N. Foley, Robert L. Giesecke, Richard H. Koos, Robert Mercer, William C. Phinney, Floyd I. Roberson, and Scott H. Simpkinson. Apollo 15 - preliminary science report. 1972.
- [BEC+72] Robin Brett, Anthony W. England, Jack E. Calkins, Robert L. Giesecke, David N. Hohnan, Robert M. Mercer, Michael J. Murphy, and Simpkinson Scott H. Apollo 16 - preliminary science report. 1972.
- [Cad06] Deborah Cadbury. Space Race: The Epic Battle Between America and the Soviet Union for Dominance of Space. Harper Collins Publishers, 2006. ISBN 9780060845537.
- [CHL+70] Anthony J. Calio, John W. Harris, John H. Langford, R. Mercer, Jamie L. Moon, Scott H. Simpkinson, William K. Stephenson, Jeffrey L. Warner, and Julian M. West. Apollo 12 - preliminary science report. 1970.
- [Cer00] Eugene Cernan. The Last Man on the Moon: Astronaut Eugene Cernan and America's Race in Space. St. Martin's Press, New York City, NY, 2000. ISBN 9780312263515.
- [CDF+71] Philip K. Chapman, Michael B. Duke, Helen N. Foley, Jackson Harris, Frank J. Herbert, Bob Mercer, Scott H. Simpkinson, Paul J. Stull, and John M. Ward. Apollo 14 - preliminary science report. 1971.
- [Cro11] Arlin Crotts. Water on the moon, i. historical overview. *Astronomical Review*, 6:4–20, 2011. URL: <https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/index.cfm>, doi:10.1080/21672857.2011.11519687.
- [Cun10] Walter Cunningham. The All-American Boys. iPicturebooks, New York City, NY, 2010. ISBN 9781876963248.
- [Dic06] Steven J. Dick. The voyages of apollo. 2006. URL: https://www.nasa.gov/exploration/whyweexplore/Why_We_20.html.
- [Eis17] Donn Eisele. Apollo Pilot: The Memoir of Astronaut Donn Eisele. University of Nebraska Press, Lincoln, NE, 2017. ISBN 9780803262836.
- [EM07] Ivan D. Ertel and Mary Louise Morse. The apollo spacecraft - a chronology. 2007. URL: <https://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-4009/contents.htm>.
- [Gar19] Steve Garber. The history of apollo program. 2019. URL: <https://history.nasa.gov/apollo.html>.
- [Har97] J.J. Harford. Korolev - how one man masterminded the soviet drive to beat america to the moon. 1997. URL: <http://history.nasa.gov/sputnik/harford.html>.
- [Inc19] Bettina Inclán. Nasa administrator statement on return to moon in next five years. 2019. URL: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-administrator-statement-on-return-to-moon-in-next-five-years>.
- [JDB75] Richard S. Johnston, Lawrence F. Dietlein, M.D., and Charles A. Berry, M.D. Biomedical Results of Apollo. NASA Scientific and Technical Information Office, Washington, DC, USA, 1975. URL: https://history.nasa.gov/SP-4029/Apollo_00a_Cover.htm.
- [Jon95] Eric M. Jones. Apollo lunar surface journal. 1995. URL: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/main.html>.
- [Kam99] Nikolai Petrovich Kamanin. Kamanin diaries (english translation of "скрытый космос"). 1999. URL: <http://www.astronautix.com/k/kamanindiaries.html>.
- [Ken62] J.F. Kennedy. Moon speech - rice stadium. 1962. URL: <http://er.jsc.nasa.gov/seh/ricetalk.htm>.
- [LS06] Alexei Leonov and David Scott. Two Sides of the Moon: Our Story of the Cold War Space Race. St. Martin's Griffin, New York City, NY, 2006. ISBN 9780312308667.
- [Lew10] Cathleen Lewis. Why yuri gagarin remains the first man in space, even though he did not land inside his spacecraft. 2010. URL: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/why-yuri-gagarin-remains-first-man-space-even-though-he-did-not-land-inside-his>.
- [Lin08] Hamish Lindsay. Alsep - apollo lunar surface experiments package. 2008. URL: <https://www.hq.nasa.gov/alsj/HamishALSEP.html>.
- [LI19] Lunar and Planetary Institute. Usra houston repository. 2019. URL: <https://repository.hou.usra.edu/handle/20.500.11753/2>.
- [Mey09] Charles Meyer. The lunar sample compendium. 2009. URL: <https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/index.cfm>.
- [NAS69] NASA. Apollo 12 press kit. 1969. URL: <https://history.nasa.gov/apollo.html>.
- [Orl00] Richard W. Orloff. Apollo by the Numbers: A Statistical Reference. NASA History Division, Office of Policy and Plans, Washington, DC, USA, 2000. ISBN 016050631X. URL: https://history.nasa.gov/SP-4029/Apollo_00a_Cover.htm.
- [PBB+73] Robert A. Parker, Richard R. Baldwin, Robin Brett, Jerry D. Fuller, Robert L. Giesecke, John B. Hanley, David N. Holman, Robert M. Mercer, Susan N. Montgomery, Michael J. Murphy, and Scott H. Simpkinson. Apollo 17 - preliminary science report. 1973.
- [She69] W. Shelton. Soviet space exploration - the first decade. Arthur Barker Ltd., London, England, 1969.
- [Sid00] Asif A. Siddiqi. Challenge to Apollo : the Soviet Union and the space race, 1945-1974. NASA History Division, Washington, D.C., 2000. ISBN 9781780393018.
- [Sly07] The Estimation of Helium-3 Probable Reserves in Lunar Regolith, 2007. URL: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2007/pdf/2175.pdf>.
- [VBC+69] J. M. Vest, P. R. Bell, A. J. Calia, J. W. Harris, H. H. Schmitt, S. H. Simpkinson, W. K. Stephenson, and D. G. Wiseman. Apollo 11 - preliminary science report. 1969.
- [Wad01] Mark Wade. Soviet manned lunar projects. 2001. URL: <http://www.friends-partners.org/mwade/articles/sovpart2.htm>.
- [Wor16] Johann-Dietrich Wörner. Moon village: a vision for global cooperation and space 4.0. 2016. URL: <http://blogs.esa.int/janwoerner/2016/11/23/moon-village/>.